

Fachbereich Wirtschaftswissenschaft

**Entwicklungspfade intelligenter Transportsysteme für den Straßen-
güterverkehr**

Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

durch den

Promotionsausschuss Dr. rer. pol.

der Universität Bremen

vorgelegt von

Ilja Bäumler, M.Sc.

Bremen, 24.09.2018

Gutachter:

Prof. Dr. Herbert Kotzab

Prof. Dr. Jörn Schönberger

Vorwort

“Nichts ist so beständig wie der Wandel”

Heraklit von Ephesus (etwa 540 - 480 v. Chr.)

Dieses oftmals genutzte und allseits beliebte Zitat zielt nicht ohne Grund seit vielen Jahrzehnten den Anfang vieler Monographien und wissenschaftlichen Ausarbeitungen. Gerade in der heutigen Zeit erleben wir regelmäßigen Wandel in der Gesellschaft, Wissenschaft und Politik. Haben die Menschen in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts die Vorteile der dampfbetriebenen Maschinen kennengelernt, dann Anfang des 20. Jahrhunderts die Elektrifizierung entdeckt, so sind die Sprünge in der industriellen Entwicklung bis zum heutigen Tag nicht nur augenscheinlich größer, sondern auch wesentlich komplexer geworden.

Als logische Konsequenz auf die Einführung von speicherprogrammierbaren Steuerelementen und allgemein der Informationstechnik (dritte industrielle Revolution), folgte 2011 die Nennung einer vierten industriellen Revolution. Hier geht es um die drahtlose Vernetzung von Menschen, Maschinen und technischen Geräten. Es geht auch um die Möglichkeit mithilfe von Sensoren und Bildverarbeitungstechnologien ein virtuelles Abbild der realen Welt zu schaffen. Ebenso werden intelligente Lösungen geschaffen, die den Menschen bei der Bewältigung seiner alltäglichen Herausforderungen unterstützen. Und es geht vor allem darum Systeme autonom (und manchmal auch autark) in Abhängigkeit zu den einprogrammierten Zielen arbeiten zu lassen.

Die vierte industrielle Revolution hat dazu geführt, dass die Menschen viel selbstverständlicher mit neuer Technik umgehen, und viele Hilfsmittel aus dem täglichen Gebrauch nicht mehr wegzudenken sind. Dazu zählen das offensichtliche Smartphone, elektronische Datenverarbeitungssysteme, Amazon und viele weitere Dinge, die das Leben angenehmer gestalten. Ebenso geht es aber auch um die nicht so offensichtlichen Alltagshelfer. Mobilität ist eines der wichtigsten Güter, die der Mensch am Anfang seines Lebens lernt und am Ende seines Lebens als erstes wieder vermisst. Das Auto hat in Deutschland eine breite Anhänger-schaft und nimmt von Jahr zu Jahr immer mehr an Bedeutung zu, allerdings nicht immer im positiven Sinne. Vielerorts ist ein staufreies Fahren oder problemloses Parken nicht mehr möglich.

Eine zukunftsgerichtete Dissertation, die sich über drei Jahre erstreckt und versucht aktuelle Ereignisse kontinuierlich einfließen zu lassen um einen guten Startpunkt für zukunftsgerichtete Überlegungen zu erhalten, wird irgendwann zu dem Punkt kommen, an dem neue Einflüsse nicht mehr integriert werden können. Im Laufe dieser Arbeit kam es beispielsweise zu einem „Diesel Skandal“ an dem der größte deutsche Automobilkonzern VW die Schuld trägt. Es wurden Abgaswerte manipuliert, woraus im Folgenden eine Diskussion um Fahrverbote für mit Diesel betriebene Fahrzeuge entstanden ist (vgl. WELT 2018). Demnach werden jetzt Fahrverbote in Innenstadtbereichen sowie Hardware-Nachrüstungen für Dieselmotoren diskutiert. Beide Diskussionspunkte beeinflussen den Straßengüterverkehr erheblich, da nicht abzusehen ist, ob und in welchem Ausmaß, ein mögliches Fahrverbot auch für Lkw gelten soll. An der Diskussion sind viele Vertreter unterschiedlicher Interessensgruppen beteiligt.

Die Entwicklung in diesem speziellen Themengebiet zeigt auf, wie bedeutend eine zukunftsgerichtete Auseinandersetzung mit dem Straßengüterverkehr ist.

Diese Arbeit nimmt sich dieser Themenstellung an und versucht zu ergründen welche Zukunftspfade im Bereich der logistischen Entwicklungen möglich sind. Dabei werden die Betrachtungen aus der wirtschaftlichen und teils technischen Perspektive für den Straßengüterverkehr mittels Szenarien erfolgen.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde im April 2016 vom Promotionsausschuss Dr. rer. pol der Universität Bremen als Dissertationsprojekt angenommen. Ohne die Unterstützung zahlreicher Personen hätte sie in dieser Form nicht realisiert werden können. Für die vielfältig erfahrene Hilfe möchte ich mich an dieser Stelle sehr herzlich bedanken.

Mein besonderer Dank gilt zunächst meinem Doktorvater „Tawarisch“ Prof. Dr. Herbert Kotzab, der mit seinem unerschöpflichen Fundus an thematischen und wissenschaftlichen Hinweisen diese Dissertation stets in neue Sphären gelenkt hat und am Gelingen dieser Arbeit beteiligt ist. Ebenso danke ich Prof. Dr. Jörn Schönberger für die Übernahme des Zweitgutachtens.

Die Szenarioanalyse in dieser Arbeit wurde mithilfe computergestützter Bewertungsalgorithmen durchgeführt. Für die Bereitstellung der Szenario-Management-Software danke ich Prof. Dr. Martin G. Möhrle. Auch danke ich Prof. Dr.-Ing. Eckhard Kutter für angeregte Diskussionen und die Verdeutlichung der Planung im Verkehrswesen.

Einen wesentlichen Anteil an meiner anhaltenden Motivation haben meine wissenschaftlichen Kollegen, allen voran Sandra Luttermann, Kristof Kanzler, Dr. Lukas Biedermann und Carl-Friedrich Klinck sowie die zweitwichtigste Person am Lehrstuhl für Logistikmanagement Martina Titze. Ich bin ihnen sehr dankbar für die gute und zahlreiche Unterstützung sowie die konstruktive und angenehme Zusammenarbeit.

Schließlich gebührt neben vielen Freunden auch meiner Familie besonderer Dank. Meinen Eltern Elvira und Nikolai für die Chance, diesen Weg zu gehen, meinem Bruder Slawa, auf den ich mich immer verlassen kann und meinem „Opa“ Horst, für die Unterstützung sowie für das stets offene Ohr für meine Gedanken.

Mein größter Dank gilt jedoch meiner Frau Alina. Mit ihr ist das Leben viel schöner.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	V
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
1 Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung.....	1
1.2 Zielstellung und Formulierung der Forschungsfragen	1
1.3 Wissenschaftstheoretische Verortung	2
1.4 Diskussion von Rigour and Relevance	6
1.5 Aufbau der Arbeit	9
2 Der Straßengüterverkehr in Deutschland	11
2.1 Allgemeines über den Straßengüterverkehr	11
2.2 Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung.....	12
2.3 Lkw-Maut.....	15
2.4 Berufskraftfahrer	17
3 Telematik für den Straßengüterverkehr	19
3.1 Definitiorische Begriffsabgrenzung	19
3.2 Einordnung der Systemkomponenten	20
3.3 Allgemeine Kategorisierung der ITS-Gestaltungsfelder für den Straßengüterverkehr 21	
3.4 Beschreibung der vier Kategorien	25
3.4.1 Flottenmanagement.....	25
3.4.2 Mautsysteme.....	26
3.4.3 Fortgeschrittene Fahrerassistenzsysteme	27
3.4.4 City-Logistik	28
4 Kritische Bestandsaufnahme zur Forschung in ITS für den Straßengüterverkehr	30
4.1 Exkurs: Zeitgeschichtliche Entwicklung telematischer Verkehrssysteme	30
4.1.1 Nationale und technologische ITS-Entwicklungsstränge	30
4.1.2 ITS-Entwicklung in den USA und den EU-Ländern	32
4.1.3 Schlüsseltechnologien für ITS.....	34
4.1.4 Abschließende Bemerkungen über die historische ITS-Entwicklung.....	35
4.2 Forschung im Bereich des Flottenmanagements	36
4.2.1 Allgemeine Vorstellung des Flottenmanagements.....	36
4.2.2 Überblick zu den Forschungsarbeiten im Bereich des Flottenmanagements ...	37
4.2.3 Überblick zu den Forschungsarbeiten für Lkw-Parkraumlösungen	40
4.3 Forschung im Bereich der Mautsysteme	43
4.3.1 Allgemeine Vorstellung von Mautsystemen	43
4.3.2 Überblick zu den Forschungsarbeiten im Bereich der Mautsysteme	45

4.3.3	Darstellung der drei telematischen Mautsysteme aus Deutschland, Österreich und der Schweiz	47
4.4	Forschung im Bereich fortgeschrittener Fahrerassistenzsysteme	49
4.4.1	Allgemeine Vorstellung fortgeschrittener Fahrerassistenzsysteme	49
4.4.2	Überblick zu den Forschungsarbeiten im Bereich der fortgeschrittenen Fahrerassistenzsysteme	51
4.5	Forschung im Bereich der City-Logistik	55
4.5.1	Allgemeine Vorstellung der City-Logistik	55
4.5.2	Überblick zu den Forschungsarbeiten im Bereich der City-Logistik.....	56
4.6	Zwischenfazit	60
5	Methoden der Zukunftsforschung	64
5.1	Exkurs: Entstehung der Futurologie	64
5.1.1	Was ist die Futurologie?	64
5.1.2	Was bedeutet Zukunftsforschung?	65
5.1.3	Was bedeutet Zukunftsfilosophie?	66
5.1.4	Was bedeutet Zukunftsgestaltung?	67
5.1.5	Konsequenz	69
5.2	Systematisierungsansätze in der Zukunftsforschung.....	69
5.3	Methodenüberblick zur Ausgestaltung möglicher Zukünfte.....	74
5.3.1	Methoden-Mix in der Zukunftsforschung.....	74
5.3.2	Delphi-Methode	76
5.3.3	Trendextrapolation und Zeitreihenanalyse	78
5.3.4	Szenario-Technik	79
5.3.5	Modellbildung	83
5.3.6	Wechselwirkungsanalyse	83
5.3.7	Morphologie-Studien	84
5.4	Vorgehensweise bei einer Szenarioanalyse	85
5.4.1	Allgemeine Vorstellung der Szenario-Methode.....	85
5.4.2	Szenario-Vorbereitung	86
5.4.3	Szenariofeld-Analyse	87
5.4.4	Szenario-Prognostik.....	91
5.4.5	Szenario-Bildung.....	93
5.4.6	Szenario-Transfer	95
5.4.7	Validierung erstellter Szenarien.....	97
6	Szenarioanalyse: Entwicklung von ITS im Straßengüterverkehr.....	99
6.1	Methodischer Steckbrief	99
6.2	Vorbereitung für ITS-Szenarien für den Straßengüterverkehr.....	101
6.2.1	Bestimmung von Gestaltungsfeld und Szenariofeld	101
6.2.2	Unterstützung durch Szenariosoftware INKA 3	102
6.3	Analyse des ITS-Szenariofeldes	103
6.3.1	Bildung von Einflussbereichen für ITS.....	103
6.3.2	Bildung von Einflussfaktoren für ITS	105

6.3.3	ITS-Einflussfaktorenkatalog.....	106
6.3.4	Einflussmatrix und direkte Einflussanalyse der ITS-Einflussfaktoren	110
6.3.5	ITS-Einflussfaktoren-Ähnlichkeitsanalyse	113
6.3.6	ITS-Schlüsselfaktoren	115
6.4	Erstellung von Projektionen aller ITS-Schlüsselfaktoren.....	116
6.4.1	Berücksichtigung von Güterkriterien bei der Erstellung von Projektionen	117
6.4.2	Übersichtsdarstellung aller Projektionen.....	117
6.4.3	Technologische Entwicklung	118
6.4.4	Zustand der technologischen Infrastruktur	120
6.4.5	Politische Rahmenbedingungen.....	123
6.4.6	Zustand der physischen Infrastruktur	126
6.4.7	E-Commerce	128
6.4.8	Systemsicherheit	130
6.4.9	Technologieakzeptanz.....	133
6.4.10	Ladungsaufkommen/ -beschaffenheit	135
6.4.11	Kommunikationsbereitschaft der Akteure.....	137
6.4.12	Verkehrsfluss	139
6.4.13	Wirtschaftliche Entwicklung.....	141
6.4.14	Umweltfaktoren	143
6.5	Entwicklung konsistenter ITS-Szenarien.....	146
6.5.1	Projektionsbündelung	146
6.5.2	Auswahl der Rohszenarien.....	147
6.5.3	Szenario I – Zeitalter der Effizienz.....	149
6.5.4	Szenario II – Ungewisse Zeiten.....	149
6.5.5	Szenario III – Stillstand	152
6.6	Analyse der Szenario-Auswirkungen auf die ITS-Gestaltungsfeldkomponenten....	154
6.6.1	Vorbemerkung.....	154
6.6.2	Auswirkungsanalyse	155
6.6.3	Grafische Darstellung der Auswirkungsanalysen.....	159
7	Zusammenfassung und Erkenntnisse.....	162
7.1	Beantwortung der Forschungsfragen.....	162
7.2	Handlungsimplikationen für die vier ITS Gestaltungsfelder.....	165
7.2.1	Allgemeine Handlungsimplikationen	165
7.2.2	Flottenmanagement.....	166
7.2.3	ADAS.....	166
7.2.4	City-Logistik	167
7.2.5	Mautsysteme.....	167
7.3	Limitation der Arbeit	167
7.4	Ausblick und weiterer Forschungsbedarf.....	168
	Literaturverzeichnis.....	A
	Anhang	W

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1 Methodische Forschungsstrategien (in Anlehnung an McGrath (1981))	8
Abbildung 1.2 Aufbau der Arbeit	9
Abbildung 3.1 Systemkomponenten einer typischen Telematikanwendung (Bäumler 2015, S. 5).....	21
Abbildung 4.1 Zeitverläufe für die amerikanische und europäische ITS-Entwicklung, sowie für die technologischen Entwicklungen (für Abkürzungen siehe Tabelle 4.1) (Bäumler und Kotzab 2017b, S.131).....	31
Abbildung 4.2 Europäische Forschungsrahmenprogramme (FP) und deren Budgetierung....	35
Abbildung 4.3 Kontrollarchitektur auf Fahrzeugebene (in Anlehnung an Besselink u. a. 2016)	54
Abbildung 4.4 Straßenmuster (Walker und Manson 2014).....	58
Abbildung 5.1 Teilgebiete der Futurologie	64
Abbildung 5.2 Zukunftsbilder und Wahrscheinlichkeiten (vgl. Gausemeier u. a. 1995)	66
Abbildung 5.3 Methoden-Mix bei der Szenario-Technik (vgl. Steinmüller 1997).....	75
Abbildung 5.4 Schematische Darstellung eines Standard-Delphis	77
Abbildung 5.5 Schematische Darstellung eines Echtzeit-Delphis	78
Abbildung 5.6 Szenario-Zukunftstrichter für mögliche Zukünfte	79
Abbildung 5.7 Phasenmodell des Szenario-Managements nach Gausemeier u. a. (1995)	86
Abbildung 5.8 Einflussmatrix.....	89
Abbildung 5.9 Validierungskriterien für Szenarien nach Amer u. a. (2013)	98
Abbildung 6.1 Ablauf, Methoden und Ergebnisse in Kap. 6 (Szenario-Management)	100
Abbildung 6.2 Benutzeroberfläche von INKA 3 - Szenariosoftware	103
Abbildung 6.3 Systembild von ITS für den Straßengüterverkehr.....	104
Abbildung 6.4 Erweiterter System-Grid aller Einflussfaktoren.....	112
Abbildung 6.5 Erweiterter Systemgrid nach erster Ähnlichkeitsanalyse.....	115
Abbildung 6.6 Produktkategorien und das bevorzugte Kaufmedium in 2017	129
Abbildung 6.7 Erstes Szenario mit allen Schlüsselfaktorenprojektionen	150
Abbildung 6.8 Zweites Szenario mit allen Schlüsselfaktorenprojektionen.....	151
Abbildung 6.9 Drittes Szenario mit allen Schlüsselfaktorenprojektionen	153
Abbildung 6.10 Bedeutung und Auswirkungsanzahl* der Szenarien auf die Gestaltungsfelder	160
Abbildung 7.1 Vier ITS-Kategorien und Kurzcharakterisierung.....	163
Abbildung 7.2 ITS Schlüsselfaktoren	164

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1 Forschungsparadigma und Methodenorientierung in der Logistikforschung (vgl. Dunn u. a. 1993, Stölzle 2002)	5
Tabelle 1.2 Behandlung der Relevanzkriterien nach Varadarajan (2003)	6
Tabelle 2.1 Verkehrsleistung und Anteil der Verkehrsbereiche für die Jahre 2000, 2005, 2010 und 2015.....	12
Tabelle 2.2 Verkehrsaufkommen und Anteil im Straßengüterverkehr für die Jahre 2000, 2005, 2010 und 2015.....	13
Tabelle 2.3 Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung nach Hauptverkehrsträgern für das Jahr 2030 (im Vergleich zu 2015)	14
Tabelle 2.4 Verkehrsaufkommen und Anteile nach Gütergruppen für die Jahre 2010, 2012 und 2014.....	15
Tabelle 2.5 Mautsätze je gefahrenen Kilometer für Achszahl und Emissionsklasse	16
Tabelle 2.6 Mauteinnahmen und Anteile ab 2005 bis 2017*	16
Tabelle 3.1 Unterschiedliche ITS Kategorisierungen.....	22
Tabelle 3.2 Technische, gesellschaftspolitische und verkehrliche Anforderungen an Mautsysteme (vgl. Datow 1995)	26
Tabelle 3.3 Beispiele für ADAS (vgl. Kala 2016)	28
Tabelle 4.1 Abkürzungsverzeichnis für Abbildung 4.1 (Bäumler und Kotzab 2017b, S.132) ...	32
Tabelle 4.2 Klassifizierung von intelligenten Parkraummanagementsystemen	41
Tabelle 4.3 Vorhandene Technologien für die Umsetzung von Mautsystemen (vgl. Iseki und Demisch 2012).....	43
Tabelle 4.4 Mautsysteme und eingesetzte Technologien	47
Tabelle 4.5 Fahrzeug- und anhängerspezifische Informationen, die von einem Sattelzug und einem Sattelaufleger für ITS-Anwendungen bezogen werden können (sortiert nach alphabetischer Reihenfolge)	50
Tabelle 5.1 Klassifizierung der gängigsten Methoden der Zukunftsforschung.....	72
Tabelle 5.2 Methoden der Zukunftsforschung und Klassifizierung nach Gordon und Glenn (2004)	73
Tabelle 5.3 Auswirkungsanalyse (Legende: GFK = Gestaltungsfeldkomponente, AW = Auswirkung).....	96
Tabelle 6.1 Vier Gestaltungsfelder und deren Gestaltungsfeldkomponenten in alphabetischer Reihenfolge je Gestaltungsfeld	105
Tabelle 6.2 Einflussbereiche von ITS für den SGV und deren Einflussfaktoren	110
Tabelle 6.3 Skala der Einflussbewertung	110
Tabelle 6.4 Kennzahlen der Einflussfaktoren.....	111
Tabelle 6.5 Ergebnis der Ähnlichkeitsanalyse: Einflussfaktorenpaare mit geringsten Differenzwerten	113
Tabelle 6.6 Kennzahlen der Einflussfaktoren nach der Ähnlichkeitsanalyse.....	114
Tabelle 6.7 Auswahl Schlüsselfaktoren	116

Tabelle 6.8 Schlüsselfaktoren und deren Projektionen	118
Tabelle 6.9 Güterverkehr 2016 in Deutschland (vgl. Reim 2017)	136
Tabelle 6.10 Beförderungsmengen in Mio. t nach Güterposition und Verkehrsträger 2014 (vgl. Hütter 2013, Kraftfahrtbundesamt 2017)	136
Tabelle 6.11 Bewertungsskala der Konsistenzmatrix (vgl. Schwarz-Geschka 2010)	146
Tabelle 6.12 Auswertung der Konsistenzmatrix und Bestimmung der konsistentesten Projektionsbündel	147
Tabelle 6.13 Anzahl unterschiedlicher Projektionsausprägungen im Vergleich.....	148
Tabelle 6.14 Auswirkungsanalyse Flottenmanagement	155
Tabelle 6.15 Auswirkungsanalyse ADAS.....	156
Tabelle 6.16 Auswirkungsanalyse City-Logistik.....	157
Tabelle 6.17 Auswirkungsanalyse Mautsysteme	158

Abkürzungsverzeichnis

7FP	Siebttes Forschungsrahmenprogramm
a. n. g.	Anderweitig nicht genannt
Abt.	Abteilung
ACC	Adaptive Cruise Control
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club
ADAS	Fortgeschrittene Fahrerassistenzsysteme (engl.: Advanced Driver Assistance Systems)
AGE	Automatische Gebührenerhebung
AHP	Analytic Hierarchy Process
ANPR	Automatische Nummernschilderkennung
AS	Aktivsumme
AVCS	Advanced Vehicle Control System
B2B	Business-to-Business
B2C	Business-to-Consumer
BAB	Bundesautobahn
BFStrMG	Bundesfernstraßenmautgesetz
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
bspw.	beispielsweise
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
BWL	Betriebswirtschaftslehre
CACC	Cooperative Adaptive Cruise Control
CAN	Controller Area Network
CVO	Commercial Vehicle Operations
DAB	Digital Audio Broadcast
DDoS	Distributed Denial of Service
DI	Dynamik-Index
DSRC	Dedicated Short Range Communication
EDI	Electronic Data Interchange
EEV	Enhanced Environmentally Friendly Vehicle
EF	Einflussfaktor
EU	Europäische Union
FDI	Ausländische Direktinvestitionen (englisch: foreign direct investments)
FIS	Forschungs-Informationen-System für Mobilität und Verkehr
FP	Forschungsrahmenprogramm
GCI	Global Competitiveness Index
GF	Gestaltungsfeld
GFK	Gestaltungsfeldkomponente

GLONASS	Globales Navigationssatellitensystem (russisch: Globalnaja nawigazionnaja sputnikowaja sistema)
GNSS	Globales Navigationssatellitensystem
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
GTP	Global Telematics Protocol
GüKG	Güterkraftverkehrsgesetz
GVZ	Güterverkehrszentrum
H20	Horizon 2020
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPI	Impuls-Index
ITS	Intelligent Transportation Systems
kb	Kilobyte
km	Kilometer
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LPI	Logistics Performance Index
LTE	Long Term Evolution
MDStV	Mediendienste-Staatsvertrag
Mio.	Million
MISRA	The Motor Industry Software Reliability Association
Mrd.	Milliarde
NAVSTAR	Navigational Satellite Timing and Ranging
NST	Einheitliches Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik (frz.: Nomenclature uniforme des marchandises pour les statistiques de transport)
OBU	On-Board-Unit
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PMK	Partikelminderungsklasse
PMT	Probalistic modified trends
PS	Passivsumme
RDS	Radio Data System
RFID	Radio-Frequency Identification
SA	Selective Availability
SF	Schlüsselfaktor
SGV	Straßengüterverkehr
t	Tonne
TDDSG	Teledienstedatenschutzgesetz
tkm	Tonnenkilometer
TMC	Traffic Message Channel
TRA	Tank- und Rastanlagen
TRKC	Transport Research Knowledge Center

u. Ä.	Und Ähnliche
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
V2V	Vehicle to Vehicle Communication
VBA	Verkehrsbeeinflussungsanlagen
VR	Virtual Reality
VWL	Volkswirtschaftslehre
WGI	World Governance Index

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Das heutige Straßennetz ist in den meisten Großstädten und zu bestimmten Zeiten an seiner Belastungsgrenze angelangt. Ebenso ist die Kapazität des Fernstraßennetzes weitestgehend erschöpft (vgl. Aberle 2005). Seit 1990 werden jedes Jahr durchschnittlich 3,2 Mio. Pkws alleine in Deutschland neu zugelassen (vgl. KBA 2017). Darüber hinaus führt die Veränderung der Belieferungszyklen in der Lebensmittelbranche von regelmäßiger Belieferungsstruktur zu Just-in-time-Belieferungen zu einem erhöhten Lieferaufkommen (vgl. Crainic u. a. 2009). Aber auch der Onlinehandel, die „Shareconomy“, das Verlangen des Kunden nach schnellerer Belieferung (same-day delivery) und die Liberalisierung des Marktes führen zu einem Mehraufkommen in der Lieferbranche (vgl. Savelsbergh und Van Woensel 2016). Bei einer gleichbleibenden innerstädtischen Infrastruktur ist es deshalb nicht verwunderlich, dass es immer häufiger zu zähfließendem Verkehr und Staus kommt.

Die dabei entstehende Zeitverschwendung und der erhöhte Kraftstoffverbrauch entsprechen einem finanziellen Schaden in zweistelliger Milliardenhöhe. Die kumulierten Staukosten werden in Deutschland von 2013 bis 2030 auf 520 Mrd. € prognostiziert (vgl. INRIX 2014). Anders ausgedrückt verbringt der durchschnittliche Autofahrer 38 Stunden im Jahr im Stau (vgl. WELT 2013) oder ein Pendler muss vor Fahrtantritt 35 Minuten mehr Zeit für seinen Fahrweg einplanen (vgl. Viehmann 2016).

Da eine Erweiterung der Straßeninfrastruktur in vielen Städten nicht möglich ist, diese Lösungsvorhaben aber auch grundsätzlich irgendwann aufgrund von baulichen Restriktionen an ihre Grenzen stoßen, müssen Systeme geschaffen werden, die die vorhandene Infrastruktur und vorhandene Gegebenheiten sinnvoller und effizienter und die Kapazität dadurch besser nutzen (vgl. Kutter 2005). Solche Systeme werden bereits unter den Akronymen ITS (Intelligent Transport Systems) oder C-ITS (Collaborative Intelligent Transport Systems) entwickelt. Es geht darum, nicht mehr das einzelne Fahrzeug oder den einzelnen Fahrauftrag individuell zu betrachten, sondern ein allumfassendes dynamisches Netzwerk aufzustellen, das alle Komponenten betrachtet und eine geeignete Ressourcenaufteilung unter Einbezug der einzelnen Restriktionen vornimmt (vgl. Kutter 2005).

1.2 Zielstellung und Formulierung der Forschungsfragen

Eine Dissertation, die sich mit der aktuellen Verkehrssituation beschäftigt, ITS unter Einbezug verschiedener Interessensvertreter analysiert und daraus ableitend Zukunftsszenarien erstellen möchte, sieht sich verschiedenen Problemstellungen gegenüber. Zum einen besteht nur unvollständige bzw. vereinzelte Literatur bezogen auf Lösungen für ITS für den Straßengüterverkehr zur Verfügung. Zum anderen besteht Unklarheit über wesentliche Erfolgsfaktoren für die Akzeptanz entwickelter ITS. Insbesondere ist jedoch wegen der schnellen Entwicklung in Qualität und Funktion von Technologien schwer abzuschätzen, in welche Richtung sich ITS für den Straßengüterverkehr entwickeln werden. Deshalb ist es notwendig un-

ter Berücksichtigung sinnvoller primär- sowie sekundärstatistischer Methoden eine Zukunftsprognose zu erstellen.

Ziel dieses Promotionsvorhabens ist es, eine Bestandsaufnahme der bisher erreichten Fortschritte im Bereich der ITS für den Straßengüterverkehr bereitzustellen und weitere Entwicklungen mittels Szenariogenerierung abzuschätzen. Neben der Darstellung von ITS für den Straßengüterverkehr und der Erstellung von Umfeldszenarien werden auch Handlungsimplicationen für die einzelnen Bereiche von ITS im Straßengüterverkehr aufgestellt. Daraus resultieren drei miteinander eng verknüpfte Forschungsfragen:

1. Was sind intelligente Transportsysteme für den Straßengüterverkehr?

Für einen thematischen Zutritt wird zunächst der Straßengüterverkehr mit den ihn charakterisierenden Eigenschaften, wie z. B. Transportleistung und -aufkommen, in Deutschland dargestellt. Anschließend wird das Anwendungsspektrum von ITS für den Straßengüterverkehr identifiziert. Daraus abgeleitet und unter Einbezug aktueller Forschungsarbeiten kann dann die erste Forschungsfrage beantwortet werden.

2. Wovon wird die Entwicklung von intelligenten Transportsystemen für den Straßengüterverkehr beeinflusst?

Um der eigentlichen Ausrichtung dieses Promotionsvorhabens gerecht zu werden, werden Einflussbereiche sowie Einflussfaktoren von ITS im Straßengüterverkehr erarbeitet. Darüber hinaus wird eine Bewertung der Einflussfaktoren stattfinden. Dies ermöglicht es absteigend nach Bedeutung der Einflussfaktoren herauszufinden, welche Faktoren bei der Ausgestaltung und Akzeptanz solcher Systeme zu berücksichtigen sind, um eine erfolgreiche Implementierung neuer und effizienter Transportsysteme und -konzepte für den Straßengüterverkehr voranzutreiben. Darüberhinaus kann dadurch das übergeordnete Forschungsvorhaben in viele kleinere vernetzte und interagierende Faktoren aufgeteilt werden, was eine systemübergreifende Herangehensweise erleichtert.

3. In welche Richtung können sich intelligente Transportsysteme für den Straßengüterverkehr entwickeln?

Die letzte Frage bezieht sich schließlich auf die Handlungsimplicationen, die aufgrund der entwickelten Szenarien für den Straßengüterverkehr resultieren. Dabei werden die einzelnen Gestaltungsfeldkomponenten intelligenter Transportsysteme vor dem Hintergrund der Szenarien betrachtet. Je nach Szenario können dann Gestaltungsfeldkomponenten mit hohem oder niedrigem Handlungsbedarf identifiziert werden. Da sich die Szenarien für den Straßengüterverkehr in unterschiedliche Richtungen entwickeln können, kann dann auch die dritte Forschungsfrage beantwortet werden.

1.3 Wissenschaftstheoretische Verortung

Um die Arbeit in einen wissenschaftstheoretischen Rahmen zu setzen, ist zunächst die Bedeutung der Wissenschaftstheorie zu klären. Der Begriff Wissenschaftstheorie wird von Ulrich und Hill (1976) als die Beantwortung aller Fragen im Zusammenhang mit der Wissen-

schaft verstanden (vgl. auch Frank 2003, Kornmeier 2007, Raffée 1974). Darunter zählen unter anderem Fragestellungen aus dem Bereich der Wissenschaftslogik und Wissenschaftspolitik. Ersteres fragt nach der wissenschaftlichen methodischen Ausrichtung und ihrer Methodik zur Erklärung wissenschaftlicher Erkenntnisse. Letzteres fragt nach der gesellschaftlichen Relevanz wissenschaftlicher Erkenntnisse (vgl. Ulrich und Hill 1976).

Im Rahmen der Wissenschaftssystematik wird die Wissenschaft in metaphysische und nicht-metaphysische Wissenschaften unterteilt. Die Betriebswirtschaftslehre (BWL) wird den Kulturwissenschaften, die zu den realen nicht-metaphysischen Wissenschaften gehören, und dort der Wirtschaftswissenschaft (Ökonomie) zugeordnet. Diese ist wiederum in die Volkswirtschaftslehre (VWL) und die BWL geteilt (vgl. Kornmeier 2007). In der Literatur wird die Zuordnung der makro- und mikroökonomischen Sichtweise auf die VWL und BWL diskutiert, wobei nach Raffée (1974) die Makroökonomie der VWL und die Mikroökonomie der BWL gleicht. Zur Erläuterung der Begrifflichkeiten ist anzumerken, dass die Makroökonomie das Zusammenspiel aggregierter Größen untersucht (Gütermarkt, Geldmarkt, Arbeitsmarkt etc.) und die Mikroökonomie einzelne Wirtschaftseinheiten und deren Handeln thematisiert (Privathaushalte, Betriebe etc.).

„Die Betriebswirtschaftslehre befaßt sich mit realen Erscheinungen, nämlich mit speziellen Organisationen („Betrieben“) und den in ihnen wirtschaftenden Personen. Sie ist daher den Realwissenschaften zuzurechnen.“ (Raffée 1974, S.22) Für Schanz (1988) ist die BWL eine angewandte Sozialwissenschaft, die mit realwissenschaftlichen Erkenntnissen wirtschaftliche Zusammenhänge erklärt.

Dabei sieht sich die BWL als Realwissenschaft vier grundsätzlichen Denkproblemen gegenüber: Subjektive Wahrnehmung, interessenbezogene Werturteile, präzise Sprache, Verallgemeinerung. Wissenschaftliche Erkenntnisse sind ein Resultat subjektiver, im besten Fall intersubjektiver interessenbezogener Forschungsbemühungen. Diese sind aber immer durch Wahrnehmungsfilter oder externe Einflussfaktoren beeinflusst und könnten in Abhängigkeit der Perspektive anders gedeutet werden (vgl. Ulrich und Hill 1976). Ebenso ist eine eindeutige und präzise Begriffsbasis zur Mitteilung der Erkenntnisse wichtig. Darunter fällt auch das Problem der Präzisierung, beziehungsweise Verallgemeinerung des Untersuchungsbereichs, da hier die Gefahr besteht, den Erkenntnisbereich ungenau oder zu spezialisiert abzugrenzen (vgl. Ulrich und Hill 1976).

Der gesamte Forschungsprozess von Beginn des gedanklichen Bezugsrahmens bis zur Weiterentwicklung des wissenschaftlichen Forschungsraums umfasst Aufgabenstellungen, die terminologisch-deskriptiv, empirisch-induktiv oder analytisch-deduktiv behandelt werden können (vgl. Hill u. a. 1976). Terminologisch-deskriptive Aufgabenstellungen schaffen Begriffssysteme. Empirisch-induktive Aufgabenstellungen untersuchen und überprüfen reale Zusammenhänge durch statistische Generalisierung. Analytisch-deduktive Aufgabenstellungen leiten aus allgemeingültigen Theorien Modelle oder Prognosen zur Erklärung beobachtbarer Zusammenhänge ab.

Wissenschaftstheoretische Aspekte der realwissenschaftlichen Forschung werden nach Ulrich und Hill (1976) in einen Entdeckungs-, Begründungs- und Verwendungszusammenhang gebracht. Zum Entdeckungszusammenhang wird die Abgrenzung des Objektbereichs, eine konkrete Problemstellung, die Aufstellung der Grundbegriffe und Variablen im Objektbereich sowie die Aufstellung und Systematisierung von Arbeitshypothesen gezählt. Der Entdeckungszusammenhang bildet somit den „gedanklichen Bezugsrahmen“ (vgl. auch Schanz 1988).

Zukünftige ITS für den Straßengüterverkehr stellen eine Themenstellung dar, die sich durch Elemente aus drei Forschungsbereichen charakterisieren lassen. Zum einen ist die Transportlogistik und damit als Teil wirtschaftlicher Prozesse ein Themengebiet, das der angewandten Betriebswirtschaftslehre zuzuordnen ist. Zum anderen reifen intelligente Systeme zur effizienten Handhabung logistischer Prozesse auf Basis technologischer Entwicklungen und sind mit dieser eng verknüpft, sodass hier ebenfalls ein technischer Bezugsrahmen vorherrschend ist. Darüber hinaus ist aufgrund des zukunftsorientierten Charakters und der Methodenwahl dieser Arbeit ebenso die Zukunftsforschung als Teilgebiet zu nennen. Auf die Grundbegriffe dieser drei Teilbereiche wird in späteren Kapiteln eingegangen. Anstelle der Arbeitshypothesen wurden drei miteinander eng verknüpfte Forschungsfragen aufgestellt (s. **Kap. 1.2**). Die Aufgabenstellung kann für den Entdeckungszusammenhang dieser Arbeit als terminologisch-deskriptiv gesehen werden, da es darum geht, Begrifflichkeiten voneinander abzugrenzen und ITS für den Straßengüterverkehr zu kategorisieren.

Der Begründungszusammenhang versucht die Forschungsfragen aus dem gedanklichen Bezugsrahmen methodisch zu überprüfen. Es stellt sich dabei die Frage, wie aus induktiven oder deduktiven Schlüssen wissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen werden können.

Die Aufgabenstellung zur Klärung des Begründungszusammenhangs ist analytisch deduktiv. Die empirische Überprüfung möglicher ITS-Einflussfaktoren wird in klar abgesteckten Settings mittels mehrtägiger Workshops durchgeführt. Auf der Basis der Ist-Zustände eines jeden Schlüsselfaktors, werden Prognosen und Szenarien erarbeitet, um der dritten Forschungsfrage gerecht zu werden. Die Szenarioanalyse erfolgt nach klar definierten Prozessschritten (vgl. Ulrich und Hill 1976).

Bei dem Verwendungszusammenhang geht es um den Zweck der wissenschaftlichen Unternehmung. Darunter wird auch das Relevanzproblem verstanden. Besäße das in dieser Arbeit angestrebte Forschungsvorhaben keine Relevanz für die gesellschaftliche Wirklichkeit, müsste sich diese Arbeit der Kritik einer reinen Zeitverschwendung gegenübersehen.

Der eingangs dargestellte wirtschaftliche Schaden, der durch Staus entsteht, nimmt eine gesellschaftlich relevante Position ein. Der Straßengüterverkehr als Mitverursacher derverkehrlichen Überbelastung birgt allerdings auch viele Lösungsansätze zur effizienteren Nutzung der Straßenkapazität. Zu überlegen, welche möglichen Zukunftspfade ITS in Bezug auf den Straßengüterverkehr einschlagen kann, hilft heutigen Entscheidungsträgern aus Wirtschaft und Politik maßgeblich bei der Ausgestaltung heutiger Strategiepläne. Indem deutlich wird, welche Faktoren die Entwicklung von ITS im Straßengüterverkehr beeinflussen, aber

auch welche Konsequenzen eine Nicht-Beachtung wichtiger Faktoren hätte, kann die Wahrnehmung für entscheidungsrelevante Kriterien geschärft werden. Die Aufgabenstellung zur Klärung des Verwendungszusammenhangs ist ebenfalls analytisch-deduktiv, da auf Basis der entwickelten Szenarien bereichsspezifische Handlungsanweisungen aufgestellt werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine interpretative Forschungshaltung im weiteren Sinne eingenommen (vgl. Blatter u. a. 2018). Es werden konstruktivistische Wertesysteme mittels Expertenworkshop und empirischer Datenbasis erstellt. Die Informationsgewinnung durch die Expertenworkshops wird in Kombination mit quantitativen Methoden zur Beantwortung der Forschungsfragen herangezogen. Diese Arbeit versteht sich darüber hinaus als Teil der Logistikforschung. Dunn u. a. (1993) (zitiert in Stölzle 2002) entwickelten einen Bezugsrahmen auf Basis identifizierter Forschungsparadigmen und der Art der Wahrnehmung in der Logistikforschung (s. **Tabelle 1.1**).

Tabelle 1.1 Forschungsparadigma und Methodenorientierung in der Logistikforschung (vgl. Dunn u. a. 1993, Stölzle 2002)

Art der Wahrnehmung Forschungsparadigma	Direkte Beobachtung der Wirklichkeit	Wahrnehmung der Wirklichkeit durch andere	Künstliche Nachbildung der Wirklichkeit
Axiomatischer Ansatz	-	-	<ul style="list-style-type: none"> • Normative Modellierung • Deskriptive Modellierung
Positivistischer Ansatz	<ul style="list-style-type: none"> • Feldstudien • Feldexperimente 	<ul style="list-style-type: none"> • Strukturierte Interviews • Schriftliche Befragungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Prototypenerstellung • Simulation
Interpretativer Ansatz	<ul style="list-style-type: none"> • Aktionsforschung • Fallstudien 	<ul style="list-style-type: none"> • Delphi-Methode • Expertenbefragungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Konzeptentwurf

Die grau hinterlegten Zellen aus **Tabelle 1.1** zeigen die Positionierung dieser Arbeit innerhalb dieses Bezugsrahmens. Bezugnehmend auf die aufgestellten Forschungsstrategien wissenschaftlicher Arbeiten von McGrath (1981) und der methodischen Zuordnung dieser Arbeit in **Abbildung 1.1** wird deutlich, dass durch die Modellierung möglicher Zukünfte (Szenarien) eine deduktiv-analytische Vorgehensweise offenbar wird, die einen interpretativen Ansatz verfolgt. Die Ermittlung relevanter ITS-Einflussfaktoren für den Straßengüterverkehr findet mittels Workshops statt, was ebenfalls einen interpretativen Ansatz verfolgt und eine subjektivistische Wirklichkeitswahrnehmung durch andere darstellt.

1.4 Diskussion von Rigour and Relevance

Die betriebswirtschaftliche Forschung sieht sich „lange bevor die Akademisierung kaufmännischen und administrativen Praktikerwissens im Rahmen der Handelshochschulbewegung einsetzte“ (Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V. 2007, o.S.), regelmäßiger Kritik ausgesetzt. Denn „der Stand des Wissens um die tatsächliche Anwendungsorientierung der Betriebswirtschaftslehre [wird] als defizitär bezeichnet“ (Oesterle 2006, S.309). So hat der Verband von Hochschullehrern für Betriebswirtschaft die 69. VHB Tagung unter dem Kernthema des *Rigour and Relevance* abgehalten.

Varadarajan (2003) gibt Aufschluss darüber, was unter rigorosen und relevanten wissenschaftlichen Arbeiten zu verstehen ist. Auf Seiten der Relevanzbetrachtung sind fünf Kriterien für eine eingereichte Arbeit bedeutend. Die Kriterien beziehen sich auf die Erklärungs- und Zielrelevanz, die operative Gültigkeit und Umsetzbarkeit der Ergebnisse, die Nicht-Offensichtlichkeit und die Aktualität der Forschungsergebnisse. Für diese Arbeit ergeben sich anhand der Relevanzkriterien die in **Tabelle 1.2** abgebildeten Standpunkte.

Bezugnehmend auf die wissenschaftliche Rigorosität wird zusätzlich zu den Ausführungen von Varadarajan (2003) auch die Sichtweise auf dieses Thema von McGrath und Brinberg (1983) und Mentzer (2008) in die folgenden Überlegungen eingepflegt. Wissenschaftliche Rigorosität wird anhand dreier Kriterien gewährleistet (vgl. Varadarajan 2003): **Konzeptionelle begriffliche Angemessenheit**, **empirische Evidenz** und **methodische Strenge**. Diese Kriterien werden in dieser Arbeit wie folgt behandelt.

Tabelle 1.2 Behandlung der Relevanzkriterien nach Varadarajan (2003)

Relevanzkriterium	Behandlung der Relevanzkriterien in dieser Arbeit
Erklärung	Indem für die Szenarioanalyse Einfluss- und Schlüsselfaktoren ermittelt und beschrieben werden, kann sichergestellt werden, dass für jedes untersuchte Themenfeld im Zuge dieser Analyse eine genaue und aussagekräftige Datenbasis besteht. Dadurch kann das Problem praxisrelevant dargestellt werden.
Ziel	Bei den zu erstellenden Szenarien handelt es sich um Umfeldszenarien. Diese werden hauptsächlich durch unbeeinflussbare Umfeldgrößen erstellt. Aus Sicht der Praktiker entstehen dadurch aber mögliche Zukünfte, in denen je nach Zukunft unterschiedliche Auswirkungen auf das zu entwickelnde Objekt zu ergründen sind und dementsprechend Anpassungen vorgenommen werden können.

Relevanz-kriterium	Behandlung der Relevanzkriterien in dieser Arbeit
Operative Gültigkeit und Umsetzbarkeit der Ergebnisse	Die praktische Relevanz ergibt sich aufgrund der Szenarioanalyse in vielerlei Hinsicht. Zum einen wird durch das Aufzeigen möglicher Zukunftsszenarien die Bedeutung von Forschung und Anpassung in den betrachteten Gebieten offenbar. Aufgrund des kontinuierlich ansteigenden Transportvolumens sind innovative Lösungskonzepte zu finden. Zu den relevanten praktischen Problemfeldern gehören die City-Logistik, das Flottenmanagement, Mautsysteme und fortgeschrittene Fahrerassistenzsysteme, welche als Themenschwerpunkte für mögliche Szenarien zu sehen sind. Diese aufgeführten Themenfelder unterliegen einer operativen Gültigkeit, da diese aus den täglichen logistischen Problemfeldern kommen. Aufgrund dieser operativen Gültigkeit kann die Einbindung der szenariogenerierten Ergebnisse in taktische wie auch strategische Planungsprozesse erfolgen.
Nicht-Offensichtlichkeit	Da es sich bei den generierten Ergebnissen um Zukunftsprojektionen handelt und diese durch vorlaufende Entscheidungsprozesse entstehen, wird dem Kriterium der Nicht-Offensichtlichkeit entsprochen.
Aktualität der Forschungsergebnisse	Aufgrund des zukunftsorientierten Charakters dieser Arbeit ist nicht davon auszugehen, dass die Aktualität der Forschungsergebnisse nach ihrer Veröffentlichung bereits veraltet ist. Die Szenarien helfen Verantwortlichen, Praktikern, aber auch anderen Forschern die Bedeutung sowie die Notwendigkeit einer stärkeren Fokussierung auf dieses Themengebiet zu verstehen.

Das konzeptionelle Vorgehen und auch die Beantwortung der weiteren Fragen kann dem Aufbau der Arbeit (**Kapitel 1.5**) entnommen werden. Nach Mentzer (2008) muss das Forschungsthema ebenso auf einer guten Theorie fußen und eine klare historische Entwicklung aufweisen. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, werden die relevanten Hauptkategorien vor dem Hintergrund der Forschungsfragen ermittelt und die Entwicklung intelligenter Transportsysteme im historischen Kontext aus der nordamerikanischen und europäischen Perspektive dargelegt. Die empirische Evidenz wird durch valide Messwerte gegeben, die wiederum durch eine rigorose Methode gewährleistet werden. Als Basis für weiterführende Überlegungen entlang der Arbeit wird der Straßengüterverkehr in Deutschland dargestellt.

Die methodische Strenge wird durch das Offenlegen aller zur Informationsgewinnung durchgeführten Schritte gewährleistet. Die Methodenwahl basiert auf einem detaillierten Methodenkapitel und der daraus resultierenden Wahl zweckmäßiger Methoden zur Beantwortung der Forschungsfragen. **Abbildung 1.1** zeigt einen Methodenkreis für Forschungsstrategien. McGrath (1981) führt aus, dass die wissenschaftliche Herangehensweise an ein Problem aus der realen Welt immer auf drei Standpunkten beruht. Je nachdem welche Forschungsstrategie gewählt wird, werden nach McGrath (1981) und McGrath und Brinberg (1983) unterschiedliche Maxima angestrebt. Diese Maxima sind in **Abbildung 1.1** an den Punkten „A“, „B“ und „C“ zu erkennen. McGrath (1981) führt weiter aus, dass das Ziel einer wissenschaftlichen Prob-

lemlösung darin bestehen sollte, alle drei Maxima zu erreichen. Dieses Forschungsziel wird allerdings ausgeschlossen, wenn eine einzige Forschungsstrategie verfolgt wird, was folglich zu einem Forschungsdilemma führt.

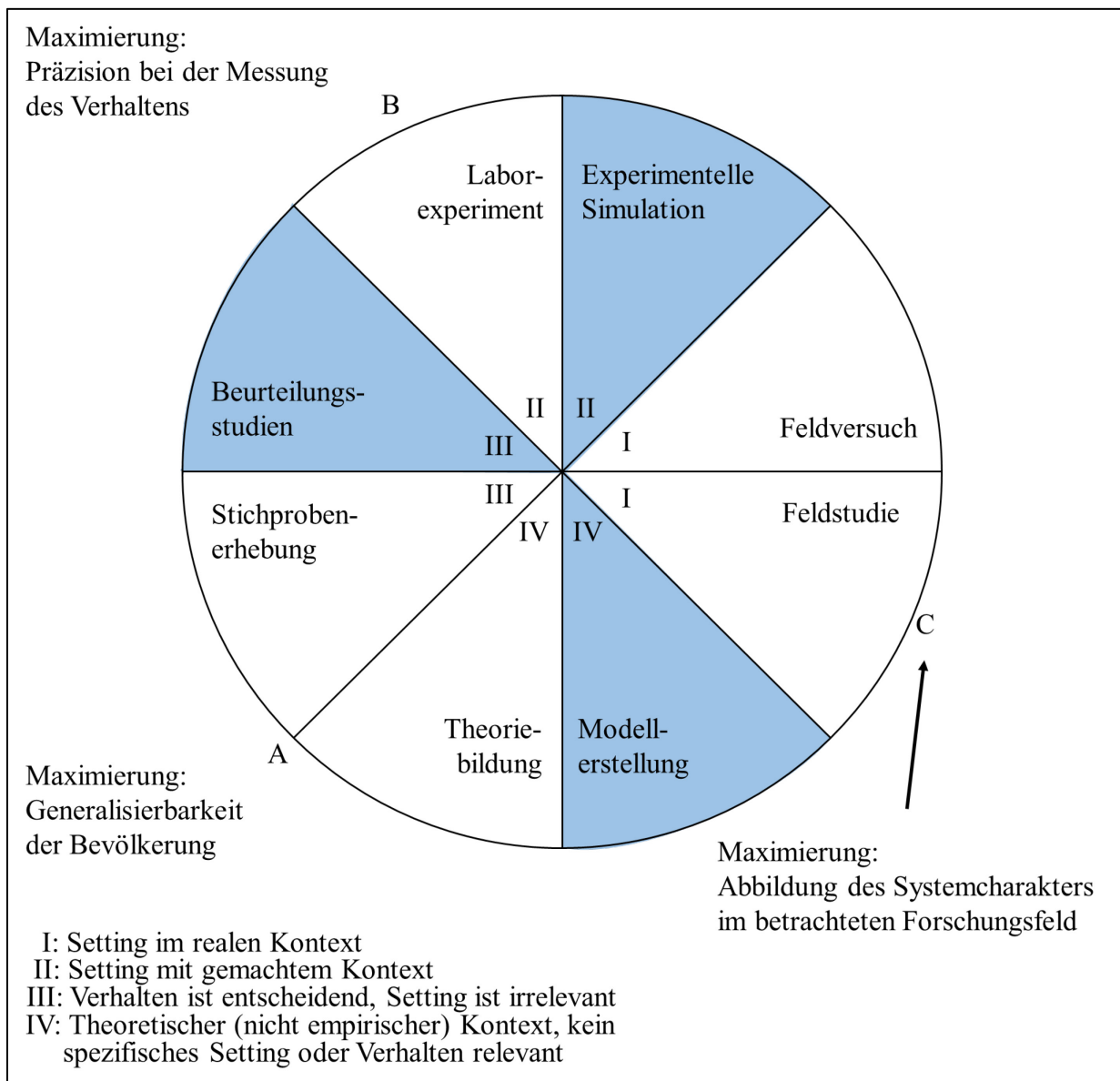


Abbildung 1.1 Methodische Forschungsstrategien (in Anlehnung an McGrath (1981))

Diese Arbeit versucht auf Basis von Szenarien die Entwicklung von intelligenten Transportsystemen für den Straßengüterverkehr abzuschätzen. Dies geschieht mittels Methodenmix, der je nach Szenariophase einen anderen forschungsstrategischen Schwerpunkt setzt. Die blau unterlegten Bereiche aus **Abbildung 1.1** zeigen auf, welche Forschungsstrategien durch die Szenarioanalyse verfolgt werden. Um Szenarien nach der hier angewendeten Szenariomethode erstellen zu können, werden gegenseitige Einflüsse unterschiedlicher Einflussfaktoren beurteilt und in ein konsistentes Zukunftsbild weiterentwickelt (Beurteilungsstudien). Die gegenseitigen Einflüsse entwickeln eine Dynamik, die ein simuliertes Entstehen von Veränderungen hervorruft (experimentelle Simulation). Indem unterschiedliche Zukunftsbilder generiert werden, entstehen unterschiedliche Modelle des gesellschaftlichen Lebens im be-

trachteten Szenariofeld (Modellerstellung). Diese drei eng miteinander verknüpften Forschungsstrategien einer Szenarioanalyse ermöglichen einen ausreichenden Kompromiss zur größtmöglichen Erhöhung der drei unterschiedlichen Maxima im Methodenkreis nach McGrath (1981).

1.5 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit zukunftsorientierten Problemstellungen vor dem Hintergrund von ITS im Straßengüterverkehr. Hierbei wird untersucht, welche Auswirkungen der Einsatz intelligenter Transportsysteme auf den Straßengüterverkehr hat und wie sich die zukünftige Transportlandschaft entwickeln kann. **Abbildung 1.2** zeigt den Aufbau der Arbeit und die Einflüsse der Kapitel untereinander.

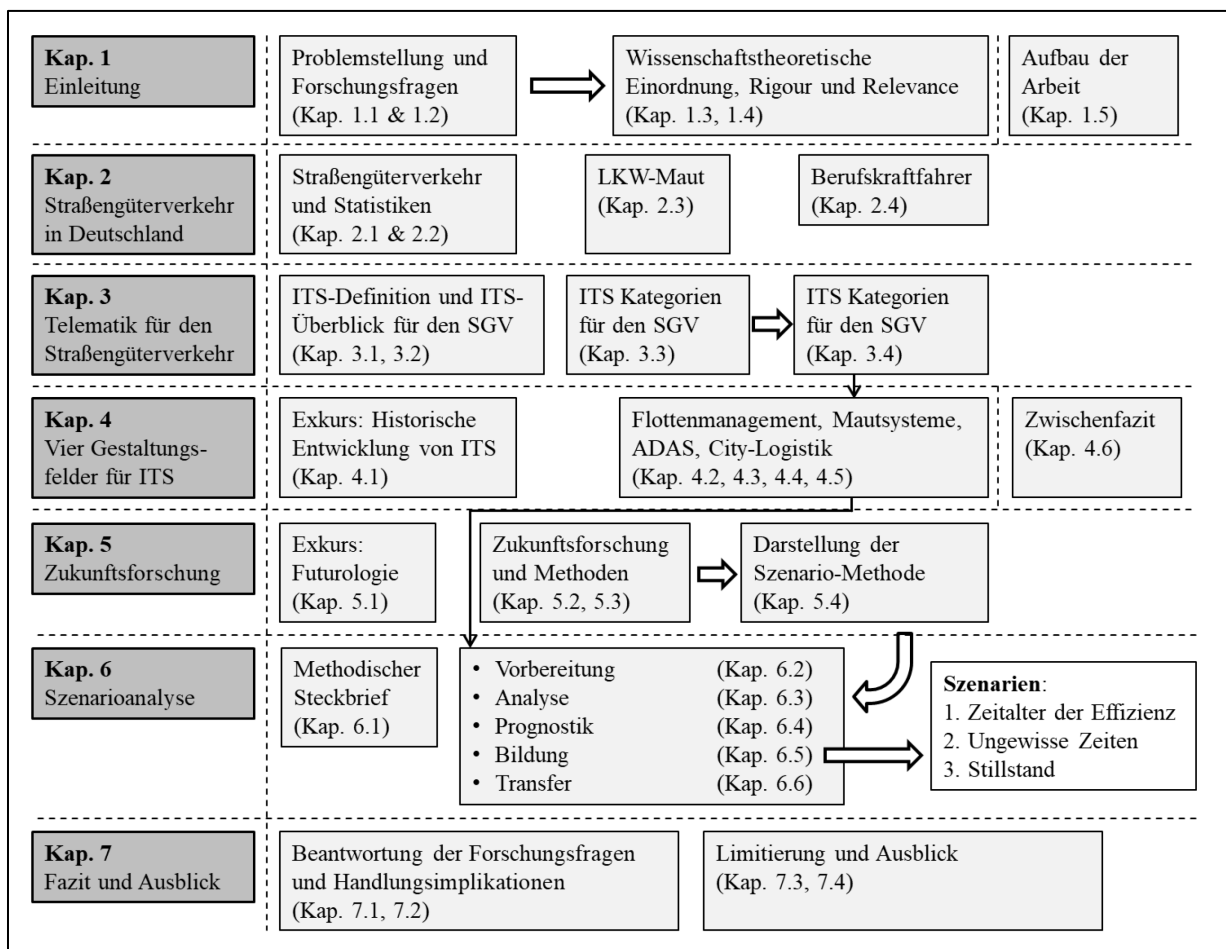


Abbildung 1.2 Aufbau der Arbeit

Zunächst wird in **Kapitel 2** der Straßengüterverkehr in Deutschland aufgeführt. Es werden Statistiken über die Verkehrsleistung und das Verkehrsaufkommen thematisiert. In **Kapitel 3** findet eine taxonomische Zuordnung der Begriffe von ITS für den Straßengüterverkehr statt. Darüber hinaus wird die begriffliche Zusammenführung von „Telematik“ und „ITS“ vorgenommen, sowie die typischen Systemkomponenten eines Telematiksystems vorgestellt. Ebenso werden die hier untersuchten Anwendungsbereiche aus der Literatur ermittelt und kategorisiert.

Kapitel 4 widmet sich der Darstellung der vier identifizierten Kategorien von ITS für den Straßengüterverkehr. Zu Beginn dieses Kapitels führt ein zeitgeschichtlicher Exkurs zu den Anfängen intelligenter Transportforschung. Anschließend folgt eine kritische Darstellung des aktuellen Forschungsstands. Im nachfolgenden **Kapitel 5** findet ein kurzer Exkurs in die Entstehung der Futurologie als die Wissenschaft von der Zukunft statt. Danach wird der methodische sowie konzeptionelle Rahmen dieser Szenarioanalyse vorgestellt.

Im anschließenden **sechsten Kapitel** wird die Szenarioanalyse durchgeführt. Sie enthält terminologisch-deskriptive sowie analytisch-deduktive Aufgabenstellungen. Es werden Umfeldszenarien für die Gestaltungsfeldkomponenten (GFK) der vier ermittelten Kategorien aus Kapitel 3.3 erstellt. Dafür werden drei konsistente Szenarien aufgestellt und bezüglich ihrer Auswirkungen auf die GFK untersucht. Im abschließenden **siebten Kapitel** werden die Forschungsfragen aufgegriffen und beantwortet. Es folgen eine kurze Aufstellung von Handlungsimplikationen für Forschung, Politik und Wirtschaft, die Limitierung des hier vorgestellten Forschungskonzepts, sowie ein Ausblick auf zukünftigen Forschungsbedarf.

2 Der Straßengüterverkehr in Deutschland

2.1 Allgemeines über den Straßengüterverkehr

Der Straßengüterverkehr wird in Deutschland durch das Güterkraftverkehrsgesetz (GüKG) reglementiert und beinhaltet in der Fassung vom 22.06.1998, die zuletzt am 16. Mai 2017 geändert wurde, 23 Paragraphen. Dabei wird nach gewerblichem Güterkraftverkehr und Werksverkehr unterschieden. Ersterer „ist die geschäftsmäßige oder entgeltliche Beförderung von Gütern mit Kraftfahrzeugen, die einschließlich Anhänger ein höheres zulässiges Gesamtgewicht als 3,5 Tonnen haben“ (§1 Abs. 1 GüKG). Als Werksverkehr wird Güterkraftverkehr für eigene Zwecke eines Unternehmens bezeichnet (§1 Abs. 2 GüKG). Während der gewerbliche Güterkraftverkehr hauptsächlich von Speditionen und Fuhrparkunternehmen im Auftrag des Versenders agiert und nach Erfüllung des Transportauftrages auf dem Rückweg ebenso Transportaufträge annehmen darf, ist es dem Werksverkehr nicht gestattet, Transportaufträge auf dem Rückweg auszuführen, weshalb dieser leer zurückfahren muss. Der Werksverkehr darf nur mit firmen/unternehmenseigenen Fahrern durchgeführt werden und dient der Beschaffungs- oder der Distributionslogistik von Industrieunternehmen (vgl. Vahrenkamp und Kotzab 2017).

Gründe der Unternehmen, trotz unwirtschaftlicher Rückfahrt am Werksverkehr festzuhalten, wurden in empirischen Untersuchungen 1996 und 2015 dargelegt (vgl. Ihde 2001, Steffen 1996 und Gleissner 2015 zitiert nach Vahrenkamp und Kotzab 2017): Durch den Werksverkehr sei man flexibler, erhalte eine höhere Termin- und Kundenbindung und aufgrund der ständigen Verfügbarkeit der eigenen Flotte und somit geringeren Transaktionskosten eine höhere Wirtschaftlichkeit.

Neben dem Transport auf dem Verkehrsträger Straße gelten auch die See, Binnengewässer, Eisenbahngleise, der Luftraum und Rohrleitungen als weitere Verkehrsträger. Sie bilden zusammen die makrologistischen Systeme, derer sich private und wirtschaftliche Unternehmen bedienen (vgl. Ihde 2001). Das deutsche Straßennetz umfasst insgesamt eine Länge von 831.000 km, davon 12.993 km Autobahnen. Damit hat Deutschland auf europäischer Ebene die zweitlängste Autobahn Europas hinter Spanien (15.336 km) und vor Frankreich (11.599 km) (vgl. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur und DVV Media Group GmbH 2017). Der Unfallstatistik des statistischen Bundesamtes zufolge ist seit 2011 mit 36.059 gemeldeten Straßenverkehrsunfällen ein Rückgang auf 32.352 gemeldeten Straßenverkehrsunfällen mit Personenschaden unter Beteiligung von Güterkraftfahrzeugen in 2016 zu verzeichnen. Im Vergleich zu 2014 (32.183 Unfälle) ist hier jedoch ein leichter Anstieg erkennbar.

In der europäischen Union waren 2010 34,7 Mio., im Jahre 2015 mit 5% Zuwachs im Bestand bereits 36,6 Mio. Güterkraftfahrzeuge angemeldet. Bei der näheren Betrachtung des Transit- und grenzüberschreitenden Verkehrs mit Deutschland als Empfangsort ist die zentrale Lage innerhalb Europas zu beachten. Deutschland ist mit neun weiteren Ländern benachbart: Acht EU-Länder (Dänemark, Niederlande, Belgien, Luxemburg, Frankreich, Österreich, Tsche-

chien und Polen) und die Schweiz. Allein die Nachbarländer Deutschlands besitzen knapp 38% (13,8 Mio.) aller Güterkraftfahrzeuge in der EU, Deutschland unter Berücksichtigung der 3,0 Mio. Güterkraftfahrzeuge knapp 46% (16,8 Mio.) (vgl. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur und DVV Media Group GmbH 2017). Diese Zahlen deuten auf eine hohe Belastung der deutschen Straßeninfrastruktur hin.

2.2 Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung¹

Wird das Verkehrsaufkommen in allen Verkehrsbereichen betrachtet, so entfielen in den Jahren 2000 84%, 2005 83%, 2010 82% und 2015 84% auf den Straßengüterverkehr. **Tabelle 2.1** zeigt die Verkehrsleistung in Mrd. tkm nach den Verkehrsbereichen ohne Luftverkehr für die Jahre 2000, 2005, 2010 und 2015. In der Modal Split Betrachtung fällt auf, dass die Verkehrsleistung im Straßengüterverkehr seit 2000 stetig zugenommen hat, während die Verlagerung der Verkehrsleistung auf die Binnenschifffahrt stetig abnahm und im Bereich des Schienengüterverkehrs ein leichter Anstieg zu verzeichnen ist. Insgesamt ist der Straßenverkehr mit einem Anteil von 71% an der gesamten Verkehrsleistung der wichtigste Verkehrsbereich.

Tabelle 2.1 Verkehrsleistung und Anteil der Verkehrsbereiche für die Jahre 2000, 2005, 2010 und 2015

Angaben in Mrd. tkm	2000	Anteil	2005	Anteil	2010	Anteil	2015	Anteil
Eisenbahnverkehr	83	16%	95	16%	107	17%	117	18%
Binnenschifffahrt	67	13%	64	11%	62	10%	55	8%
Straßenverkehr	346	68%	403	70%	441	70%	459	71%
Rohrfernleitungen	15	3%	17	3%	16	3%	18	3%

Aberle (2005) führt diese starke Ausprägung hauptsächlich auf den **Güterstruktureffekt**, **Logistikeffekt**, **Integrationseffekt** und **Systemcharakter des Straßengüterverkehrs** zurück. Er führt infolgedessen aus, dass der Güterstruktureffekt den Wandel von Massengütern zu hochwertigen Konsum- und Produktionsgütern beschreibt. Dieser Umstand begünstigt die Entscheidung zur Transportabfertigung mit dem Lkw. Der Güterstruktureffekt wird durch den Logistikeffekt verstärkt. So entwickelte sich seit Anfang der 80er Jahre der Bedarf nach höheren logistischen Qualitätsansprüchen durch Just-in-time-Konzepte und die Abkehr von gebundenem Kapital bzw. Lagerhaltung. Durch die flexiblere und bessere Vernetzung des Straßengüterverkehrs konnte der straßengebundene Transport auch in diesem Punkt überzeugen. Der Integrationseffekt beschreibt die infrastrukturellen Probleme im grenzüberschreitenden Lieferverkehr. Obwohl der Schienengüterverkehr im Falle von weiteren Entfernungen bei Betrachtung der reinen Distanz zwischen Start und Ziel eigentlich im Vorteil gegenüber der Straße sein sollte, wird aufgrund organisatorischer und infrastruktureller Män-

¹ Die in diesem Kapitel aufgeführten Statistiken zum Güterverkehr beziehen sich auf den Bericht „Verkehr in Zahlen 2017/2018“ (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur und DVV Media Group GmbH 2017)

gel, besonders im osteuropäischen Raum, dennoch der Transport auf der Straße bevorzugt. Auch der Systemcharakter des Straßengüterverkehrs entspricht den Anforderungen der verladenden Wirtschaft in einem höheren Maße als der Schienengüterverkehr (vgl. Aberle 2005).

Ein weiterer Beweis für die Unersetzbarkeit des Straßengüterverkehrs liegt in der Bedeutung des regionalen Verteil- und Wirtschaftsverkehrs. **Tabelle 2.2** kann entnommen werden, dass der Werk- als auch gewerbliche Güterkraftverkehr im Jahr 2000 ein Verkehrsaufkommen in Höhe von 1,916 Mrd. t hatte. Dies waren 64% des gesamten von deutschen Lkw durchgeführten Güterkraftverkehrs im Nahverkehrsbereich bis 50 km. 2015 belief sich der Anteil mit 1,660 Mrd. t noch auf 55%. Zwar ist hier ein leichter Rückwärtstrend erkennbar, allerdings wird deutlich, dass im Nahverkehrsbereich ein hoher Bedarf an Transportdienstleistungen besteht und die Verlagerung auf die Schiene strukturell nicht möglich ist.

Tabelle 2.2 Verkehrsaufkommen und Anteil im Straßengüterverkehr für die Jahre 2000, 2005, 2010 und 2015

Angaben in Mio. t	2000	Anteil	2005	Anteil	2010	Anteil	2015	Anteil
Straßengüterverkehr	3244	100%	3062	100%	3125	100%	3480	100%
Deutsche Lkw	2994	92%	2742	90%	2717	87%	3019	87%
Gewerblicher Güterkraftverkehr	1539	51%	1647	60%	1951	72%	2265	75%
Nah*	836	54%	805	49%	956	49%	1135	50%
Regional**	307	20%	346	21%	446	23%	556	25%
Fern***	397	26%	496	30%	549	28%	574	25%
Werkverkehr	1455	49%	1095	40%	766	28%	754	25%
Nah*	1080	74%	781	71%	521	68%	525	70%
Regional**	252	17%	209	19%	161	21%	159	21%
Fern***	123	8%	106	10%	85	11%	70	9%
Ausländische Lkw	251	8%	320	10%	408	13%	461	13%

Legende: * ≤50 km, ** 51 km - 150 km, *** >150 km

Tabelle 2.2 zeigt das Verkehrsaufkommen für die Jahre 2000, 2005, 2010 und 2015 sowie deren jeweiligen Anteile am Nah-, Regional- und Fernverkehr für den Werk- und gewerblichen Verkehr. Die Anteile beziehen sich immer auf die darüber liegende Zeile mit größerer Schriftgröße.² Es ist erkennbar, dass der Fernverkehr im Werkverkehr über die Jahre geringe Anteile am gesamten Werkverkehr einnahm. Der gewerbliche Güterkraftverkehr nahm hin-

² Beispiele zur besseren Lesbarkeit: Der Werkverkehr nahm 2005 anteilig 40% am Verkehrsaufkommen mit deutschen Lastkraftfahrzeugen ein. Der Fernverkehr im Werkverkehr nahm 2015 9% am gesamten Werkverkehr ein.

gegen anteilig bis zu 30% am gewerblichen Fernverkehr ein. Dies ist auf die unwirtschaftliche Rückfahrtenregelung zurückzuführen. Ebenso fällt auf, dass sich das Verkehrsaufkommen seit 2000 zugunsten des gewerblichen Güterkraftverkehrs verlagert. Während der gewerbliche Güterkraftverkehr im Jahre 2000 noch 51% des Straßengüterverkehrs einnahm (durchgeführt mit deutschen Lastkraftwagen), waren es 2015 bereits 75%.

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur hat *Intraplan Consult GmbH* und die *Beratergruppe Verkehr und Umwelt* Prognosen zur deutschlandweiten Verkehrsverflechtung entwickelt. **Tabelle 2.3** zeigt die prognostizierten Werte für das Jahr 2030 im Vergleich zu den Werten aus dem Jahr 2015. Demnach wird das Verkehrsaufkommen für die Verkehrsbereiche Eisenbahnverkehr, Binnenschifffahrt und Straßengüterverkehr bis 2030 um 53% steigen, wobei den größten Teil mit 83% der Straßengüterverkehr einnehmen wird. Der Bedarf an Transportdienstleistungen auf der Straße wird demnach zu- und der Transportbedarf auf der Schiene abnehmen. Die Verkehrsleistung wird sich im Vergleich zwischen den Jahren 2015 und 2030 nur geringfügig verändern. Zwar wird von einem Anstieg der Verkehrsleistung um 33% ausgegangen, der Anteil des Straßengüterverkehrs wird sich allerdings nur marginal von 71% auf 72% erhöhen.

Tabelle 2.3 Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung nach Hauptverkehrsträgern für das Jahr 2030 (im Vergleich zu 2015)

Verkehrsaufkommen - Angaben in Mio. t	2015	Anteil	2030	Anteil
Eisenbahnverkehr	367	13%	444	10%
Binnenschifffahrt	221	8%	276	6%
Straßengüterverkehr	2265	79%	3639	83%
Verkehrsleistung - Angaben in Mrd. tkm				
Eisenbahnverkehr	117	18%	154	18%
Binnenschifffahrt	55	8%	77	9%
Straßengüterverkehr	459	71%	607	72%

Nach dem einheitlichen Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik (NST) von 2007 werden 20 Gütergruppen unterschieden (vgl. Kommission der europäischen Gemeinschaften 2007). Für die Güterkraftverkehrsstatistik deutscher Lastkraftfahrzeuge wurden die Abteilungen 4, 5 und 6 zu „Konsumgüter zum kurzfristigen Verbrauch, Holzwaren“, 8 und 9 zu „Chemische und Mineralerzeugnisse“, 11, 12 und 13 zu „Maschinen und Ausrüstungen, langlebige Konsumgüter“ und 15 bis 20 zu „Sonstige Produkte“ vereint (vgl. Anhang A). **Tabelle 2.4** gibt eine Übersicht über die transportierten Mengen und Anteile am Gesamtvolumen für die Jahre 2010, 2012 und 2014. Demnach haben „Erze, Steine u. Erden, Bergbau“ im Straßengüterverkehr mit deutschen Lastkraftfahrzeugen mit knapp 31% (2014) den größten Anteil am gesamten Verkehrsaufkommen. Es folgen mit einem Anteil von 16% (2014) „Chemische und Mineralerzeugnisse“, sowie mit einem Anteil von 14% (2014) „Konsumgüter zum kurzfristigen Verbrauch, Holzwaren“. Den geringsten Anteil (0,2% 2014) am Verkehrsaufkommen hat die Gütergruppe „Kohle, Rohöl, Erdgas“.

Tabelle 2.4 Verkehrsaufkommen und Anteile nach Gütergruppen für die Jahre 2010, 2012 und 2014

Abt.	Angaben in Mio. t	2010	Anteil	2012	Anteil	2014	Anteil
1	Land- und forstwirtschaftliche Erzeugnisse	154	5,7%	161	5,6%	175	5,8%
2	Kohle, Rohöl, Erdgas	6	0,2%	6	0,2%	7	0,2%
3	Erze, Steine u. Erden, Bergbau	843	31,0%	899	31,2%	931	30,7%
4-6	Konsumgüter zum kurzfristigen Verbrauch, Holzwaren	431	15,9%	428	14,9%	433	14,3%
7	Kokerei- u. Mineralöl-erzeugnisse	92	3,4%	92	3,2%	91	3,0%
8-9	Chemische und Mineral-erzeugnisse	427	15,7%	467	16,2%	490	16,1%
10	Metalle und Metallerzeugnisse	135	5,0%	129	4,5%	138	4,5%
11-13	Maschinen und Ausrüstungen, langlebige Konsumgüter	138	5,1%	141	4,9%	145	4,8%
14	Sekundärrohstoffe, Abfälle	240	8,8%	245	8,5%	262	8,6%
15-20	Sonstige Produkte	251	9,2%	309	10,7%	365	12,0%
Insgesamt		2717	100%	2877	100%	3037	100%

Die größte anteilige Veränderung von 2010 bis 2014 hat die Gütergruppe 15-20 „Sonstige Produkte“ erfahren. Dazu zählen Post, Pakete, Geräte und Material für die Güterbeförderung, beförderte Güter im Rahmen von Umzügen, Sammelgüter, nicht identifizierbare Güter und sonstige Güter. Werden die Zahlen des Handelsverbandes Deutschland für den E-Commerce in den Jahren 2010 und 2014 herangezogen, so ist der Onlineumsatz (netto) von 20,2 Mrd. € (in 2010) auf 35,6 Mrd. € (in 2014) gestiegen. Das macht einen prozentualen Umsatzanstieg von 76% aus (vgl. o. A. 2018a). Vor diesem Hintergrund erscheint das 45%tige Wachstum in der Gütergruppe „Sonstige Produkte“, welche die „Post und Pakete“ beinhaltet, verständlich.

2.3 Lkw-Maut

Das Bundesfernstraßenmautgesetz (BFStrMG) umfasst in der Version vom 12.07.2011, die zuletzt am 27.03.2017 geändert wurde, 15 Paragraphen. Für die Benutzung von Bundesautobahnen und Bundesstraßen ist in Deutschland eine Gebühr (Maut) zu entrichten. Mautpflichtig sind Kraftfahrzeuge oder Fahrzeugkombinationen, die für den Güterkraftverkehr bestimmt sind und deren zulässiges Gesamtgewicht mindestens 7,5 Tonnen beträgt (§1 Abs. 1 BFStrMG). Zur Berechnung der Mautgebühr werden die Infrastrukturkosten und die Kosten für die Luftverschmutzung durch das mautpflichtige Fahrzeug herangezogen. **Tabelle 2.5** zeigt eine Kostenaufstellung für beide Mautteilsätze je gefahrenen Kilometer. Es wird deutlich, dass eine hohe Schadstoffklasse (und damit verbunden eine geringe Umweltbelastung durch reduzierte Emissionswerte) zu geringen oder gar keinen Mautgebühren nach dem

zweiten Mautsatz führt. In diesem Zusammenhang ist es nicht verwunderlich, dass 2016 die Mauteinnahmen zu 46% und 2017 schon zu 59,3% von Lkw aus der höchsten Emissionsklasse generiert wurden (vgl. o. A. 2017, o. A. 2018b).

Tabelle 2.5 Mautsätze je gefahrenen Kilometer für Achszahl und Emissionsklasse

Achszahl eines Fahrzeugs oder einer Fahrzeugkombination	Mautsatz 1 pro km in €	Emissionsklasse/ Kategorie	entspricht Schadstoffklasse	Mautsatz 2 pro km in €
2	0,081	A	S6	0
3	0,113	B	EEV* 1 u. S5	0,021
4	0,117	C	S4 u. S3 (PMK** 2 oder höher)	0,032
5	0,135	D	S3 u. S2 (PMK** 1 oder höher)	0,063
		E	S2	0,073
		F	S1 und andere	0,083

*Enhanced Environmentally Friendly Vehicle

**Partikelminderungskategorie

Für die Inbetriebnahme eines elektronischen Mauterhebungssystems und zur Abrechnung einer Mautgebühr wurde Toll Collect vom deutschen Verkehrsministerium beauftragt. Auf die Gründe für die Etablierung eines Mautsystems sei auf **Kapitel 4.3** verwiesen. Ebenso wird dort das in Deutschland betriebene System mit allen seinen Bestandteilen aufgeführt.

Tabelle 2.6 Mauteinnahmen und Anteile ab 2005 bis 2017*

Jahr	Mauteinnahmen in Mrd. €	%-Zuwachs zum Vorjahr	Deutscher Anteil in %	Ausländischer Anteil in %
2005	2,9			
2006	3,1	7%	66,0	34,0
2007	3,3	6%	65,7	34,3
2008	3,5	6%	65,2	34,8
2009	4,3	23%	65,6	34,4
2010	4,5	5%	64,4	35,6
2011	4,5	0%	63,5	36,5
2012	4,4	-3%	62,9	37,1
2013	4,4	1%	62,2	37,8
2014	4,5	2%	60,7	39,2
2015	4,4	-2%	59,8	40,1
2016	4,6	5%	59,0	40,9
2017	4,7	2%	57,4	42,6

*Die prozentualen Anteile deutscher und ausländischer Güterkraftverkehre wurden aus den jährlichen Mautstatistiken des Bundesamtes für Güterverkehr ab 2006 entnommen.

Tabelle 2.6 zeigt die Mauteinnahmen seit Beginn der Mauterhebung in Deutschland. Eine direkte Vergleichbarkeit der jährlichen Einnahmen ist vor dem Hintergrund der Strecken- und Gewichtsklassenerweiterungen kritisch zu betrachten. Am 01. August 2012 und am 01. Juli 2015 wurde das mautpflichtige Verkehrsnetz um jeweils 1.100 km Bundesstraße erweitert. Am 01. Oktober 2015 wurden alle Güterkraftfahrzeuge ab einem zulässigen Gesamtgewicht von 7,5 Tonnen mautpflichtig. Bis zu diesem Zeitpunkt galt die Mautpflicht nur für Fahrzeuge ab einem zulässigen Gesamtgewicht von 12 Tonnen. Es ist davon auszugehen, dass die Mauteinnahmen ab dem 01. Juli 2018 enorm ansteigen werden, da das mautpflichtige Verkehrsnetz von 15.000 km auf 52.000 km Länge erweitert wird. Die Erweiterbarkeit des deutschen Mautsystems ist durch eine satellitengestützte Mauterhebung möglich und erfordert die Aufstellung von fast vier Meter hohen blau-grün gekennzeichneten Kontrollsäulen entlang der Bundesstraßen (vgl. Toll Collect 2018).

Wird **Tabelle 2.6** näher betrachtet, so fällt auf, dass der Anteil an den Mauteinnahmen erzeugt durch deutsche Lkw seit 2006 kontinuierlich abnimmt und der ausländische Anteil kontinuierlich ansteigt. Den größten Anteil am mautpflichtigen ausländischen Güterkraftverkehr nimmt laut den Jahrestabellen des Bundesamtes für Güterverkehr Polen ein. Im Jahr 2016 hatte der mautpflichtige Güterkraftverkehr aus Polen einen Anteil von 14,8% an den Gesamteinnahmen. In 2017 stieg der Wert auf 16,1% an.

2.4 Berufskraftfahrer

Die Digitalisierung der Logistikbranche und der Wegfall repetitiver Aufgaben aufgrund von Automatisierungstrends rücken den Berufskraftfahrer in den Mittelpunkt der Diskussion um den sich entwickelnden Arbeitsmarkt. Der Berufskraftfahrer kann sowohl im Personenverkehr als auch im Güterverkehr eingesetzt werden. Vor dem thematischen Hintergrund dieser Arbeit beziehen sich die folgenden Aussagen auf den Berufskraftfahrer im Güterverkehr in Deutschland.

Der Bestand an Lkw-Fahrerlaubnissen ist seit 2009 von 16,6 Mio. um 29% auf 21,5 Mio. gestiegen (vgl. KBA 2018). Die Altersstruktur der beschäftigten Berufskraftfahrer hat sich über die vergangenen Jahre nur geringfügig verändert. Seit 2014 ist jedoch eine Veränderung zugunsten der Altersgruppe 55 Jahre und älter zu erkennen. Diese macht mittlerweile einen Anteil von 27,8% unter allen sozialversicherungspflichtigen Berufskraftfahrern aus. Im Vergleich dazu nimmt die Hauptgruppe (25 Jahre bis 55 Jahre) knapp 70% ein. Trotzdem ist ein Veralterungsprozess in der Altersstruktur in den letzten Jahre erkennbar (vgl. o. A. 2017). Die Gründe für diese Veränderungen sind vielschichtig. Der Beruf des Kraftfahrers hat in Deutschland ein vergleichsweise schlechtes Image: der Anspruch an den Schulabschluss, Bildungsgrad und Ausbildung ist gering, Verdienst- und Aufstiegsmöglichkeiten ebenso. Dazu kommt die Trennung von der Familie oft über mehrere Tage. Diskussionen um autonome Lkw in den letzten Jahren schüren die Ängste einer Berufsausbildung ohne Zukunftsaussichten. Diese Umstände führen dazu, sodass immer weniger Menschen die Ausbildung zum Berufskraftfahrer wählen. Waren es 2013 noch 7.300 abgeschlossene Ausbildungsverträge, so hat sich die Zahl auf 6.800 in 2016 reduziert (vgl. o. A. 2017).

Die Aufgaben eines Berufskraftfahrers sind mannigfaltig. Dazu gehören die Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Fahrzeugs, eine effiziente Durchführung des Transports (Planung der Reiseroute, ökonomische Fahrweise, etc.), die Einhaltung der seit 2006 durch das europäische Parlament und den europäischen Rat verordneten Lenk- und Ruhezeiten und die Abwicklung von Formalitäten bei grenzüberschreitendem Verkehr oder Warenannahme und -übergabe. Darüber hinaus sind Lkw aufgrund ihres Gewichts ein höheres Sicherheitsrisiko, womit der Berufskraftfahrer auch eine hohe Verantwortung trägt.

Im Zuge der Diskussion um eine effizientere Transportplanung lassen sich die Tonnenkilometer auf Grundlage zweier Faktoren erheblich beeinflussen: Erstens die Größe des eingesetzten Fahrzeugs und damit die transportierte Menge und zweitens der Auslastungsgrad des Fahrzeugs. Durch voll ausgelastete Fahrzeuge und mehr Ladevolumen lassen sich die Tonnenkilometer erhöhen und dabei die Fahrzeugkilometer reduzieren (vgl. Aberle 2005). Der Gigaliner ist ein Beispiel für die Erhöhung der Laderaumkapazität. Zwar erfordert die Führung eines solchen überlangen Lkw keine Zusatzausbildung, dafür müssen aber einige Konditionen erfüllt sein, damit ein Berufskraftfahrer einen überlangen Lkw (max. 25,25 m) fahren darf. Diese Voraussetzungen werden in §11 der Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften für Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit Überlänge geregelt. Zum einen muss eine fünfjährige Berufserfahrung im gewerblichen Güter- oder Werksverkehr mit einem normalen Lkw bestehen, zum anderen muss der Berufskraftfahrer vor dem ersten Fahren eines überlangen Lkw eine Einweisung in den Gebrauch des überlangen Lkw vom Hersteller oder von einer zertifizierten Stelle erhalten.

Nachdem hiermit die grundlegenden Informationen über den Straßengüterverkehr in Deutschland dargestellt wurden, wird im folgenden Kapitel konkret auf den Begriffszusammenhang der Telematik für den Straßengüterverkehr eingegangen. Zunächst werden die Bestandteile der Telematik aufgeführt, um dann eine Kategorisierung von Telematiksystemen für den Straßengüterverkehr vorzunehmen, anschließend werden die ermittelten Kategorien beschrieben.

3 Telematik für den Straßengüterverkehr

3.1 Definitorische Begriffsabgrenzung

Die Frage nach einer eindeutigen Definition für Intelligent Transportation Systems (ITS) oder Telematik, die über die einfache Begriffszusammenstellung hinausgeht, ist ebenso schwierig zu beantworten wie die Entwicklung der Technologien in diesem Anwendungsgebiet. Das liegt daran, dass sich einerseits das telematische (und intelligente) Anwendungsspektrum stetig erweitert und andererseits neue Technologien die Grenzen von Telematiksystemen erweitern.

Giannopoulos u. a. (2012, S.5) definieren ITS als „[...] the use of Information and Communication Technologies (or ICT) in the field of transport, to create real time flow of information and data in order to enable more “intelligent” use of infrastructures and vehicles and to enhance the management of traffic and mobility.“

Die Europäische Kommission erweitert das ITS-Verständnis um den Begriff des „smarten“ Nutzens des Transportnetzwerkes: „Intelligent Transport Systems (ITS) are advanced applications which without embodying intelligence as such aim to provide innovative services relating to different modes of transport and traffic management and enable various users to be better informed and make safer, more coordinated and ‘smarter’ use of transport networks.“ (Smith 2015, S. 1)

Dahingegen beschreiben Crainic u. a. (2009, S. 1) ITS als ein zukunftsorientiertes Konstrukt aus „[...] tomorrow’s technology, infrastructure, and services, as well as the planning, operation, and control methods to be used for the transportation of persons and freight.“

Sussman (2005, S. 173), der eine zentrale Rolle in der Entstehung von intelligenten Transportsystemen einnimmt, definiert ITS wie folgt: „Intelligent transportation systems (ITS) apply technologies in communications, control, electronics, and computer hardware and software to improve surface transportation system performance.“

Die hier aufgenommenen Definitionen für ITS unterscheiden sich nicht grundlegend.³ Gemeinsam haben sie die Annahme, dass es sich bei ITS um den Zusammenschluss verschiedener Technologien zur effizienteren Nutzung von Transportnetzwerken handelt. Wegen seiner zentralen Rolle und Vorreiterposition wird für diese Dissertation Sussmans Definition weiterverfolgt.

Der eingangs hergestellte Bezug zu den Akronymen ITS oder C-ITS wird hauptsächlich in der englischsprachigen Literatur verwendet. Dort besteht der ITS-Begriff seit 1994 (Auer u. a. 2016). Im deutschsprachigen Raum wird hauptsächlich von Verkehrstelematik oder vereinfacht Telematik gesprochen. Dabei ist Telematik ein Kunstwort, welches aus den Begriffen

³ Lediglich die Definition von Crainic u. a. (2009), die ITS als ein Zukunftskonstrukt sehen, beziehen sich bei der Definition auf zukünftige, noch zu entwickelnde Technologien und Dienstleistungen.

Telekommunikation und Informatik zusammengesetzt wird. Zu den Schlüsseltechnologien, die Telematiksysteme für den alltäglichen Gebrauch möglich gemacht haben, zählen Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) (vgl. Garcia-Ortiz u. a. 1995, Nagarajan u. a. 2005). Diese ermöglichen es, Daten zu sammeln, zu verarbeiten und anschließend für Verkehrsteilnehmer zur Verfügung zu stellen. Jede dieser Stufen wird mittels kabelloser Datenübertragung durchgeführt, was eine standortunabhängige Datenerfassung, -verarbeitung und -ausgabe ermöglicht (vgl. Müller 2012). Weitere impulsgebende Technologien sind im Bereich der Ortung, Identifikation und des elektronischen Datenaustauschs zu finden (vgl. Bernsmann u. a. 2006). Das sind wiederum alle Bestandteile, die sich auch bei intelligenten Transportsystemen wiederfinden und diese in ihrer Gesamtheit darstellen.

Diese Arbeit verwendet die Begriffe ITS und Telematik synonym. Das folgende **Kapitel 1.2** beleuchtet die hier vorgestellten Telematiksysteme aus betriebswirtschaftlicher Sicht. Technische und ingenieursspezifische Perspektiven sind nicht Bestandteil dieser Arbeit.

3.2 Einordnung der Systemkomponenten

In **Abbildung 3.1** wird ein grober Überblick über die Hauptbestandteile einer Telematikanwendung gegeben. Je nachdem, welche Systemkomponente näher betrachtet wird, ergeben sich verschiedene Möglichkeiten in der Umsetzung: Beispielsweise stehen für die Positionsbestimmung das amerikanische (*Navigational Satellite Timing and Ranging – Global Positioning System* (NAVSTAR GPS), im Folgendem mit GPS abgekürzt) und russische Satellitennavigationssystem (*Globalnaja nawigazionnaja sputnikowaja sistema* (GLONASS)) zur Verfügung. Mittlerweile ist auch das europäische Satellitennavigationssystem „Galileo“ für die Positionsbestimmung vorhanden und einsatzbereit. Im Dezember 2017 wurden vier Satelliten in Position gebracht und es fehlen nur noch vier weitere Satelliten um die Galileo-Konstellation zu komplettieren (vgl. esa o. J.).

Die Kommunikation zwischen Lkw-Fahrer und Leitstelle kann sowohl mono- als auch bidirektional erfolgen. Für eine monodirektionale Verbindung seien hier der *Radio Data System-Traffic Message Channel* (RDS-TMC) und *Digital Audio Broadcast* (DAB) genannt. Dem gegenüber stellen das *Global System for Mobile Communications* (GSM) und das *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS) bidirektionale Möglichkeiten der Datenübertragung dar und ermöglichen den Informationsaustausch zwischen Fahrerkabine und Leitstelle.

Wenn die genannten Grundvoraussetzungen für das Funktionieren von Telematik-Diensten gegeben sind, ergeben sich verschiedene Möglichkeiten von Dienstleistungsangeboten. Je nachdem, welche Verkehrsteilnehmer betrachtet werden, ergeben sich unterschiedliche Interessensfelder. Da sich diese Arbeit mit Telematiksystemen für den Straßengüterverkehr befasst, werden hier ausschließlich Dienstleistungen und Anwendungsmöglichkeiten für den Gütertransport auf der Straße betrachtet. Exemplarisch seien hier Echtzeit-Informationen über den Ladungsstatus eines Lkw sowie Staumeldungen und Routeninformationen für den Lkw-Fahrer genannt. Dabei übernimmt die Flottenmanagementzentrale eines Transportdienstleisters die Aufgabe zwischen allen Akteuren, z. B. Auftraggeber und Lieferempfänger,

während der Auftragsabwicklung zu vermitteln und mithilfe telematischer Anwendungen nützliche Informationen bereitzustellen.

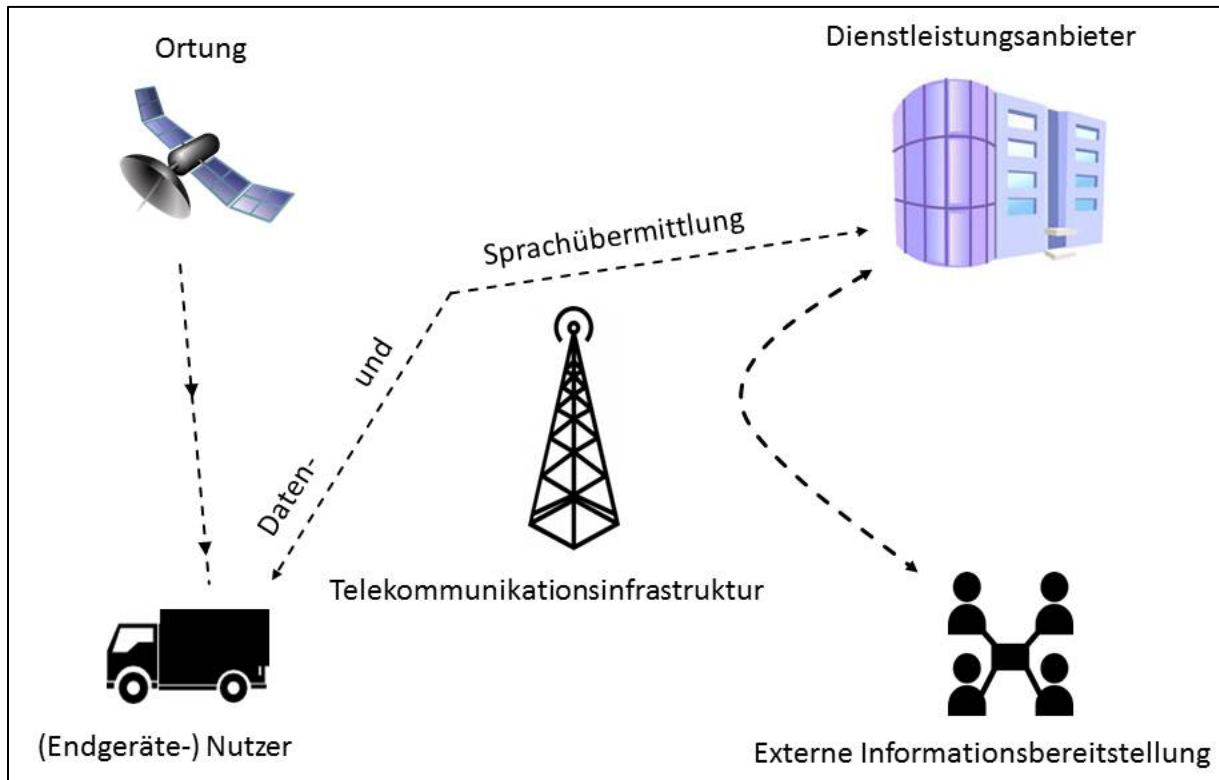


Abbildung 3.1 Systemkomponenten einer typischen Telematikanwendung (Bäumler 2015, S. 5)

3.3 Allgemeine Kategorisierung der ITS-Gestaltungsfelder für den Straßengüterverkehr

Um die Vielzahl verschiedener Telematiksysteme richtig einordnen zu können und die für den Straßengüterverkehr relevanten Systeme zu erkennen, wird vorerst eine Übersicht des telematischen Anwendungsspektrums aufgezeigt. **Tabelle 3.1** gibt einen Überblick über verschiedene Einteilungen von Anwendungsspektren. Es wird deutlich, dass die Themen Sicherheit und Informationsbereitstellung von allen vier Quellen gleichermaßen erwähnt werden. Bei der Benennung kooperativer Fahrsysteme und dem Management von Flotten werden zwar unterschiedliche Begrifflichkeiten verwendet, allerdings unterscheiden sich diese bei näherer Betrachtung nicht. Im Gegensatz dazu scheint das Thema Nachhaltigkeit nicht bei allen Perspektiven von Bedeutung zu sein, sodass für die Kategorienerstellung diese nicht explizit erwähnt wird. Besonderes Augenmerk liegt auf der Erwähnung der ITS-Architektur in Sitavancova und Hajek (2010). Als einzige Quelle wird hier dieses Thema aufgegriffen und als ein entscheidendes Merkmal telematischer Systeme angesehen.

Tabelle 3.1 Unterschiedliche ITS Kategorisierungen

Sussman (2005)	Giannopolous et al. (2012)	ERTICO – ITS Europe (1991)	Sitavancova und Hajek (2010)
<ul style="list-style-type: none"> • Verkehrsmanagement-systeme • Reiseinforma-tionssysteme • Erweiterte öffentliche Verkehrs-mittelsysteme • Erweiterte länd-liche Transport-systeme • Nutzfahrzeug-betrieb • Fortgeschrittene Fahrerassistenz-systeme 	<ul style="list-style-type: none"> • Navigation • Reise- & Verkehrs-informationen • Verkehrs- & öffentliches Transport-management • Intelligente Mobilität & multimodale Dienstleistungen • Umwelt und Nachhal-tigkeit/ Effizienz • Logistik & Gütertransport • Schutz & Sicherheit • Gebührenerhebung & Preis-/ Kosten-bestimmung 	<ul style="list-style-type: none"> • CooperativeMobility • EcoMobility • SafeMobility • InfoMobility 	<ul style="list-style-type: none"> • Straßenverkehrs-management & Kontrolle • Notfall- & Sicherheits-systeme • Satellitenbasierte Technologien • ITS- Architektur • Elektronische Gebührenerhebung • Grenzüberschreitende Zusammenarbeit • Seeverkehrsmanage-ment & Kontrolle • Flugverkehrs-management & Kontrolle

Grundsätzlich kann ITS nicht nur in privaten und wirtschaftlichen Verkehr sondern auch in autonome und kooperative Systeme unterteilt werden. Sussmans (2005) Einteilung wird als Ausgangspunkt für eine ITS-Kategorisierung für den Straßengüterverkehr verwendet:

- **Erweiterte Verkehrsmanagementsysteme (ATMS):** Diese Systeme kombinieren die Funktionen der Straßeninfrastruktur und verbessern die Auslastung des Verkehrsnetzes. ATMS-Systeme können durch das Sammeln und Verarbeiten von Echtzeit-Daten auch grenzübergreifend Staus oder zähen Verkehr vorhersagen. Auf Grundlage dieser Informationen können dann Verkehrsteilnehmer umgeleitet bzw. über Alternativrouten in Kenntnis gesetzt werden. Dynamische Verkehrskontrollsysteme, die zu den ATMS-Systemen zählen, können durch das Erkennen von Unfällen und das Umleiten des Verkehrs in Echtzeit zur Reduktion von Verkehrsstörungen beitragen.
- **Erweiterte Reiseinformationssysteme (ATIS):** Systeme vom Typ ATIS unterstützen den Verkehrsteilnehmer mit Informationen vor und während der Fahrt. Anhand von Wetterdaten, Verkehrsdaten und Routenvorschlägen, die der Verkehrsteilnehmer von überall empfangen kann, ist er jederzeit bestens informiert und kann somit seine Verkehrssi-cherheit sowie Fahrtenqualität optimieren.
- **Fortgeschrittene Fahrerkontrollsysteme (AVCS):** AVCS unterstützen den Fahrer dabei, sein Fahrzeug unter Kontrolle zu halten und somit seine Sicherheit zu erhöhen. Da sie dem Fahrer dabei helfen, schwierige Verkehrssituationen besser zu meistern, wird indi-rekt auch zur Reduzierung von Verkehrsstörungen beigetragen. Beispiele solcher An-wendungen sind der Spurhalteassistent, das elektronische Stabilitätsprogramm oder der Notbremsassistent.

- **Nutzfahrzeugbetrieb (CVO):** CVO-Systemen steigern allgemein die Produktivität und die Effizienz in der Auftragsausführung. Systeme dieser Kategorie tragen direkt zur besseren Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens bei. Beispiele solcher Telematik-Anwendungen sind die Dispositionsplanung, Touren- und Laderaumoptimierung, Flottenmanagement, Tracking und Tracing und das Bestandsmanagement (vgl. Bernsmann u. a. 2006).
- **Erweiterte öffentliche Verkehrsmittelsysteme (APTS):** Systeme dieser Kategorie sind vor allem für den *öffentlichen Personennahverkehr* (ÖPNV) von Nutzen. Durch APTS-Systeme können die Informationen der bereits beschriebenen Systeme den Teilnehmern, aber auch den Fahrern des ÖPNV zusätzliche Informationen bieten und somit zu einer höheren Fahrplanpünktlichkeit, mehr Transparenz und besserer Steuerung der Flotten beitragen.
- **Erweiterte ländliche Transportsysteme (ARTS):** Im Gegensatz zum Stadt- oder Fernverkehr ist der ländliche Verkehr eher von einer geringeren Verkehrsdichte geprägt. Dies führt dazu, dass die finanziellen Mittel für den Ausbau ländlicher Verkehrsnetze geringer ausfallen. Dennoch können größere Baumaßnahmen an Fernverkehrsstraßen Umleitungen durch ländliches Gebiet nötig machen und dort zu einem erhöhten Verkehrsaufkommen führen. Für die Gewährleistung der Verkehrssicherheit und zur Bewältigung des Transitverkehrs sind deshalb auch in diesen Gebieten intelligente Transport- und Notdienstsysteme erforderlich.

Sternberg und Andersson (2012) fügen zusätzlich zu den sechs Kategorien von Sussman noch zwei weitere Kategorien hinzu: AHS/IVI – Automated Highway Systems/Intelligent Vehicle Initiative und ADUS – Archived Data User Services.

- **Automated Highway Systems / Intelligent Vehicle Initiative (AHS / IVI):** Unter dem Konzept des *Automated Highway System* werden eine oder mehrere besonders ausgestattete Fahrbahnen verstanden, die es Verkehrsteilnehmern mit einer Zusatzausstattung im Fahrzeug ermöglichen automatisch computergesteuert zu fahren. Diese Systeme können vielfältig aufgebaut sein. Sie können mit Magnetstreifen am Fahrbahnrand operieren, damit ein im Fahrzeug eingebauter Magnet einen gleichmäßigen Abstand zum Fahrbahnrand hält. Genauso möglich sind Systeme, die Infrarot oder Radarsensoren verwenden, um mit ihrer Umgebung zu kommunizieren (vgl. Rillings 1997). Die *Intelligent Vehicle Initiative* wurde 1997 gegründet und hatte zum Ziel, die Einsatzmöglichkeiten von fahrzeuginternen Hilfssystemen zu erweitern, die Entwicklung solcher Systeme voranzutreiben, sowie die Verfügbarkeit zu gewährleisten. Dadurch verbessert sich die Sicherheit und Effizienz aller Transportprozesse auf der Straße (vgl. Little 1997).
- **Archived Data User Services (ADUS):** ITS entfalten ihr volles Potential, wenn sie mit anderen Systemen interagieren und daraus Entscheidungen ableiten. Die dabei generierten Daten werden gespeichert und anderen Systemen außerhalb der üblichen ITS-Felder zur Verfügung gestellt. Darunter fallen Akteure aus Regierungspositionen wie der Planung, Überwachung und Kontrolle der nationalen Straßeninfrastruktur oder aus dem öffentlichen Raum. Weitere Beispiele solcher Interessensvertreter finden sich im strate-

gischen Plan für die Entwicklung von „*Archieved Data User Services*“-Standards (vgl. Systematics 2000).

Anhand dieser Einteilung sind vor allem AVCS-, AHS- und CVO-Systeme für den Straßengüterverkehr von Interesse. AVCS-Systeme helfen dem Fahrer dabei, sein Fahrzeug unter Kontrolle zu halten. AHS könnten als Vorstufe zum autonomen Fahren gelten, da die im Fahrzeug zusätzlich verbauten Systeme mit den in der Fahrbahn verbauten Sensoren kommunizieren und so navigieren. CVO-Systeme sorgen dafür, dass die Produktivität, Sicherheit und auch Kontrollmöglichkeiten während des Transports verbessert werden. ATIS versorgen den Fahrer während der Fahrt mit Informationen zum Verkehrsgeschehen, sodass auch diese Kategorie für den Straßengüterverkehr relevant ist. Allerdings lassen sich AVCS nach Kala (2016) in rein informative und eingreifende Systeme unterscheiden, wodurch ATIS in die Kategorie der AVCS fallen.

Für die Wirtschaftlichkeit und Optimierung der Leistungserstellung im Straßengüterverkehr sind vor allem aktuelle Informationen zur Verkehrs- und Wetterlage sowie die Art der Ladung wichtig. Darüber hinaus ermöglicht die ständige Überwachung der Güterverkehrsprozesse eine bessere Planungsgrundlage, die sowohl kurz- als auch langfristig zur Erhöhung der unternehmerischen Flexibilität beiträgt und sowohl Einsparpotentiale in der Lagerhaltung, als auch geringeren Transportaufwand bietet. Nach Rillings (1997) könnte ein Fahrzeugdurchsatz pro Fahrbahn mit AHS von 2.000 auf 6.000 erhöht werden. Dies könnte zu kürzeren Lieferzeiten und einer höheren Liefertreue führen, was sich positiv für alle Verkehrsteilnehmer auswirken würde.

Seitens der Auftraggeber und Empfänger führen Statusmeldungen über den aktuellen Aufenthaltspunkt sowie die damit einhergehenden Abfahrtszeiten, Anschlüsse und Wartezeiten der Logistikdienstleister zu einer höheren Servicequalität. Sicherheitsrelevante Fragestellungen können durch die ständige Positionsverfügbarkeit ebenfalls bedient werden. Bei einem Unfall können die Lkw-Positionsdaten an die Rettungsleitstelle weitergeleitet werden und so zu einem zeitnahen Rettungseinsatz führen. Im Falle eines verunglückten Gefahrguttransportes hilft die unverzügliche Weitergabe von Informationen über die transportierte Ladung dabei, richtige Hilfsmittel bei der Ladungsbergung einzusetzen.

Systeme zur elektronischen Gebührenerhebung und Kostenbestimmung sind laut Giannopoulos u. a. (2012) und Sitavancova und Hajek (2010) ebenso wichtige Anwendungsgebiete für ITS. Laut der Ergebnisse einer Untersuchung zum Ersatz der Kraftstoffsteuer durch Mautsysteme liegen die Gründe zur Einführung gebührenpflichtiger Straßen in der Schaffung einer Einnahmequelle und in der Steuerung des Verkehrs (vgl. Sorensen und Taylor 2005). Der reibungslose, störungs- und unterbrechungsfreie Ablauf bei der Gebührenerhebung für mautpflichtige Straßen ist durch die Entwicklung von modernen Kommunikations- und Datenübertragungssystemen ein wichtiger Bestandteil telematischer Anwendungen für den Straßengüterverkehr geworden.

Telematiksysteme sind somit vielseitig einsetzbar. Für die Kategorienbildung dieser Arbeit sind vor dem Hintergrund des Straßengüterverkehrs vor allem das Flottenmanagement,

fortgeschrittene Fahrerassistenzsysteme und Mautsysteme relevant. Eine weitere Kategorie entsteht durch aktuelle innerstädtische Herausforderungen, die Savelsbergh und Van Woen-sel (2016) in „City Logistics: Challenges and Opportunities“ herausstellen. Hier ist die Rede von der Urbanisierung, dem Anstieg der E-Commerce Branche, der Shareconomy, dem Trend der immer schnelleren Bestelllieferungen (same-day delivery) und der Nachhaltigkeit, wodurch die City-Logistik als eine relevante Kategorie für den Straßengüterverkehr aufgenommen wird.

3.4 Beschreibung der vier Kategorien

3.4.1 Flottenmanagement

Das übergeordnete Ziel des Flottenmanagements (oder auch Fuhrparkmanagements) ist es, die Flotte bezogen auf ihre Kosten und ihr dargebotenes Leistungsportfolio zu optimieren. Die getroffenen Entscheidungen haben Einfluss auf den Lieferservice und die Logistikkosten eines Unternehmens (vgl. Vahrenkamp u. a. 2012). Es existieren hauptsächlich vier Funktionen für das Flottenmanagement (vgl. Vahrenkamp u. a. 1998):

1. Fahrzeugbeschaffung und -finanzierung
2. Wartung und Reparatur
3. Kostenkontrolle und -steuerung
4. Fahrzeugeinsatzplanung

Heutzutage wirken Informations- und Kommunikationstechnologien in allen vier Funktionsbereichen des Flottenmanagements unterstützend mit. Beispielhaft seien hier Bordcomputer oder sogenannte On-Board-Units (OBU) erwähnt. Diese ermöglichen einen kontinuierlichen Daten- und Kommunikationsaustausch zwischen dem Fahrer und der Zentrale. Darüber werden beispielsweise Kunden-, Fuhrpark-, Fahrzeugdaten oder Verkehrsinformationen übertragen. Ebenso werden Tour-, Status- und Positionsdaten oder Fahrzeugzustand an die Zentrale übermittelt. Durch diese ständige Erreichbarkeit können effizientere Transportabläufe, gezielterer Personaleinsatz, kürzere Informationswege, eine höhere Umschlagleistung, geringe Wartezeiten und eine optimale Nutzung von Transportkapazitäten gewährleistet werden (vgl. Evers 1998).

Bei der Beschaffung und Finanzierung der Flotte kann zwischen Erwerb eines eigenen Fuhrparks, Fremdbezug mittels Leasing oder dem Outsourcing eines Teils oder der gesamten Logistikaktivitäten unterschieden werden. Der Vorteil eines eigenen oder geleasteten Fuhrparks liegt in der klaren Verantwortungsverteilung. Direkte Ansprechpartner sind schnell zu erreichen, da sie sich im Unternehmen befinden. Nachteilig wirken sich Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen und zudem ein hoher Kapitaleinsatz aus. Der Vorteil beim Outsourcen von Logistikfunktionen sind der geringere Kapitaleinsatz und der Zugriff auf ein hohes Angebot an unterschiedlichen Logistiklösungen. Der Nachteil ist unter Umständen die Abgabe von Know-How und die Billigung einer Dienstleisterabhängigkeit (vgl. Evers 1998).

Während die Kostenkontrolle und -steuerung (Controlling) sowie die Sicherstellung der Betriebsbereitschaft durch Reparatur- und Wartungsarbeiten eng mit der Aufgabe der Beschaf-

fung und Finanzierung einer Flotte zusammenhängen, geht es bei der Fahrzeugeinsatzplanung darum optimale Lieferbeziehungen zwischen Produktions- und Abnehmerstandorten zu ermitteln sowie Transportmittel zu Aufträgen optimal zuzuordnen. Dafür werden Heuristiken und Algorithmen aus dem Bereich des *Operations Research* verwendet (vgl. Evers 1998).

3.4.2 Mautsysteme

Mautsysteme bieten eine Einnahmequelle zur Finanzierung von Straßensanierungen wie auch eine Möglichkeit zur Steuerung des Verkehrsaufkommens. Die Entwicklung moderner Technologien wie der drahtlosen Sprach- und Datenübertragung (GSM) oder der globalen Navigationssatellitensysteme (GNSS) führten dazu, dass die Mauterhebung einfacher, schneller und vor allem günstiger geworden ist (vgl. Iseki und Demisch 2012). Die Grundidee für ein Mautsystem ist einfach: Durch die Gebührenerhebung zur Nutzung der Straßeninfrastruktur werden diejenigen an den Kosten beteiligt, die auch mögliche Schäden am Straßennetz verursachen. Außerdem werden Mautsysteme auch genutzt um das Verkehrsaufkommen zu beeinflussen. An dieser Stelle seien die Konzepte der „*High Occupancy Toll Lanes*“ oder die „*London Congestion Charge*“ erwähnt, die durch die Erhebung einer Straßennutzungsgebühr ein schnelleres Vorankommen für „Zahler“ ermöglichen bzw. die Verkehrsdichte regulieren.

Tabelle 3.2 Technische, gesellschaftspolitische und verkehrliche Anforderungen an Mautsysteme (vgl. Datow 1995)

Anforderungen	Beschreibung
Technische Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> • Gewährleistung der Funktionsfähigkeit bei extremen Wetterverhältnissen • Schutz vor elektromagnetischer und technischer Störeinwirkung • Vermeidung von negativen Effekten auf Übertragungswege • Berücksichtigung verschiedener Gebührenklassen in Abhängigkeit der Fahrzeugeigenschaften
Gesellschaftspolitische Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> • Einhaltung der Datenschutzbestimmungen • Keine Erstellung von Mobilitätsprofilen • Interoperabilität mit anderen Mauterhebungssystemen • Akzeptables Verhältnis zwischen Kosten und Nutzen
Verkehrliche Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> • Funktionsfähigkeit bei mehrspurigen Straßen • Funktionsfähigkeit bei Fahrstreifenwechsel oder Überholvorgängen • Funktionsfähigkeit unabhängig der Fahrzeuggeschwindigkeiten • Detektion einzelner Fahrzeuge unter speziellen Verkehrssituationen (Kolonnenfahrt, Stau)

Neben den Gründen, welche für die Nutzung von Mautsystemen sprechen, müssen auch eine Vielzahl von Anforderungen erfüllt sein, bevor diese eingesetzt werden können. Grund-

legende Anforderungen wurden bereits 1993 beim Feldversuch zur Erprobung von automatischen Gebührenerhebungssystemen an deutschen Autobahnen aufgestellt (vgl. Datow 1995). **Tabelle 3.2** verschafft einen Überblick über die technischen, gesellschaftspolitischen und verkehrlichen Anforderungen von Mautsystemen.

Der Startpunkt elektronischer Mauterhebung ist auf den Beginn der dritten industriellen Revolution zurückzuführen. Nachdem Computerchips und Übertragungstechnologien Anfang der 1990er Jahre durch die Vorreiterprojekte PROMETHEUS und DRIVE in die Transportlandschaft überführt wurden, häuften sich auch verstärkt Projekte zur Umsetzung einer bargeldlosen Mauterhebung in Europa.

3.4.3 Fortgeschrittene Fahrerassistenzsysteme

Der Unterschied zwischen konventionellen und fortgeschrittenen Fahrerassistenzsystemen liegt in der maschinellen Wahrnehmung von Kennzahlen und Werten. Normale Fahrerassistenzsysteme entscheiden nach einfach zu messenden Kennzahlen und unterstützen den Fahrer beim Fahren. Beispiele solcher Systeme sind das Antiblockiersystem oder das Reifendruck-Überwachungssystem. Eine Aufzählung weiterer Fahrerassistenzsysteme, die für eine erhöhte Sicherheit beim Fahren sorgen und in modernen Lkws verbaut sind, finden sich in Trigell u. a. (2017).

Systeme mit maschineller Wahrnehmung hingegen werden um die maschinelle Datenverarbeitungs- und Interpretationsleistung erweitert. Systeme dieser Art zeichnen oder empfangen, verwerten und interpretieren Daten, leiten daraus Maßnahmen ab und helfen dem Fahrer somit durch festgelegte Interpretationswerte in schwierigen Verkehrssituationen oder Situationen der Unachtsamkeit besser auf äußere Einflüsse zu reagieren (vgl. Maurer 2012). Systeme dieser Art sind auch als *Advanced Driver Assistance Systems* (ADAS) bekannt.

ADAS wirken auf der Stabilisierungs-, Bahnführungs- und Navigationsebene. Durch eine international festgelegte Kennzeichnung der Hauptachsen müssen Sensoren die Fahrtrichtung als x-Achse, die Querrichtung als y-Achse und die Hochachse als z-Achse werten. Für eine optimale Fahrdynamik beziehen ADAS die benötigten Informationen über diese drei Achswirkungen. Die Informationen beruhen auf der Raddrehzahl, dem Lenkradwinkel, den Drehbewegungen in allen drei Hauptachsen, den Beschleunigungs- und Bremsdrucksensoren (vgl. Mörbe 2012).

Kala (2016) unterscheidet ADAS in informationsgebende und eingreifende Systeme (s. **Tabelle 3.3**). Erstere unterstützen den Fahrer mit Informationen oder Warnungen zum Verkehr. Auf Seiten des Systems findet kein Lenkungseingriff während der Fahrzeugsteuerung statt. Ein Beispiel für ein solches System wäre eine Müdigkeitsdetektion. Im Gegensatz dazu können eingreifende oder manipulierende Systeme in das Fahrgeschehen eingreifen. Ebenso kann der Fahrer die Verantwortung und Steuerung an solche Systeme übergeben. Beispiele für solche Systeme sind Spurhalteassistenten oder Kolonnenfahrssysteme. Im Falle eines Kontrollverlustes über das Fahrzeug können ADAS unterstützend eingreifen und neben der Si-

herstellung der Verkehrssicherheit auch indirekt die Stabilisierung des Verkehrsstroms und somit zur Freisetzung zusätzlicher Straßenkapazitäten beitragen.

Tabelle 3.3 Beispiele für ADAS (vgl. Kala 2016)

Informationsbasierte ADAS	Lenkeingriffsberechtigte ADAS
<ul style="list-style-type: none"> • Fortgeschrittene Reiseinformationssysteme • Systeme zur Warnung von Unachtsamkeit • Systeme zur Messung von Fahrverhalten 	<ul style="list-style-type: none"> • Notbremsassistent/Fußgängerdetektion • Adaptive Geschwindigkeitsregelung (ACC) • Kollaborative ACC (Kolonnenfahren) • Überholassistent • Spurhalteassistent • Einparkassistent

Fortgeschrittene Fahrerassistenzsysteme wirken vorrangig auf der Bahnführungs- und Navigationsebene. Bild- und Infrarot-, beziehungsweise Abstandssensoren verarbeiten und helfen beim Verlassen oder Halten einer Spur (Fahrstreifenwechselassistent, Spurhalteassistent), beim Einparken (Einparkassistent) und beim Sehen (Sichtverbesserungsassistent). Im Gegensatz zu normalen Fahrerassistenzsystemen, die auf die Krafteinwirkung auf die drei Fahrzeughauptachsen reagieren, interpretieren ADAS ihre Umwelt. Dadurch sind Systeme zur adaptiven Geschwindigkeitsregulieren (ACC) aber auch zur präventiven und sofortigen Unfallvermeidung entstanden (Frontalkollisionsschutzsystem, Kreuzungssistenz) (vgl. Winner u. a. 2012).

3.4.4 City-Logistik

Das Transportaufkommen ist in den letzten Jahren wegen stärkeren Konsums, der Globalisierungseffekte und Anlieferkonzepte gestiegen, was zu mehr Durchfahrten, Umgehungsfahrten oder Anlieferungen im innerstädtischen Bereich geführt hat. Hohe Feinstaubwerte und Lärmbelastung führten dazu, dass Umweltzonen und spezielle Anlieferzeiten eingerichtet wurden, um dieser Belastung gesellschaftsverträglich gerecht zu werden. Vor diesem Hintergrund wurden weitere City-Logistikkonzepte entworfen, die den Verkehr verlagern, vermeiden, verringern und insgesamt stadtverträglicher gestalten.

Der Begriff City-Logistik beschreibt einen Optimierungsprozess, der von Logistikunternehmen und -dienstleistern, bezogen auf ihre Transporte und logistischen Aktivitäten innerhalb einer Stadt, angestrebt wird. Dabei werden fortgeschrittene Informationssysteme für den städtischen Raum verwendet, welche die städtische Umwelt, Verkehrssituation, Verkehrssicherheit und Möglichkeiten zur Energie- und Kraftstoffeinsparung berücksichtigen (vgl. Taniguchi u. a. 2001). In diesem Kontext werden von Taniguchi (2014) vier Nutzergruppen angeführt, die im gegenseitigen Interesse mittels neuer Technologien (ICT und ITS), öffentlich-privater Partnerschaften und eines Umdenkens zugunsten nachhaltigen Wirtschaftens, die logistischen Prozesse in einer Stadt mit den dort lebenden Bewohnern nachhaltiger und verträglicher gestalten wollen (vgl. Crainic u. a. 2009). Bektaş u. a. (2017) unterstützen Tanigu-

chis (2014) Sichtweise und merken an, dass sich die Literatur mittlerweile auf drei unterschiedliche Punkte bezüglich der Definition von City-Logistik zu einigen scheint:

1. City-Logistik bezieht sich auf den städtischen Güterverkehr.
2. City-Logistik ist ein System, das die Konsolidierung und Koordinierung von Gütertransporten innerhalb einer Stadt verfolgt.
3. City-Logistik versucht die logistischen Prozesse innerhalb einer Stadt effizienter zu gestalten und dabei die negativen Umwelteinflüsse zu reduzieren.

Bektaş u. a. (2017) führen weiter aus, dass die Konzepte von City-Logistik auf den drei Konstrukten *System*, *Planen* und *Geschäftsmodell* fußen. Unter dem Konstrukt *System* verstehen sich die Fragen nach dem zu transportierenden Gut, die Art und Anzahl von Gebäuden, die ein Transportnetzwerk innerhalb der Stadt bilden, die Anordnung der Gebäude sowie die angebotenen Transportmodi. Das zweite Konstrukt *Planen* beschäftigt sich mit Transportentscheidungen auf operativer, taktischer und strategischer Ebene. Und das dritte Konstrukt *Geschäftsmodell* bezieht sich auf die Schlüsselemente, die Stakeholder und die Art der Wertschöpfung einer Logistikdienstleistung.

Dieses Kapitel hatte den Zweck Grundlagen allgemeiner Art zu ITS aufzuzeigen und diese für den Straßengüterverkehr zu kategorisieren. Als Ausgangspunkt für weitere Überlegungen wurde Sussmans (2005) Definition für ITS aufgrund seiner zentralen Rolle in der Erforschung und Entwicklung von ITS gewählt. Im nächsten Kapitel werden die vier qualitativ erarbeiteten Kategorien nochmals aufgegriffen und vor dem Licht der aktuellen Forschungsbemühungen präsentiert.

4 Kritische Bestandsaufnahme zur Forschung in ITS für den Straßengüterverkehr

4.1 Exkurs: Zeitgeschichtliche Entwicklung telematischer Verkehrssysteme⁴

4.1.1 Nationale und technologische ITS-Entwicklungsstränge

Die Entwicklung von ITS wird in diesem Exkurskapitel aus der amerikanischen Sichtweise (USA) und der europäischen Sichtweise (EU-Länder) vorgestellt, damit sich hieraus Forschungsstränge aufzeigen lassen. Zusätzlich werden technologische Meilensteine aufgeführt, um dadurch einen direkten Einblick in die Bedeutung von Schlüsseltechnologien für ITS zu bekommen und deren zeitlichen Verlauf zu verstehen.⁵

Die ITS-Entwicklung hat sich allerdings nicht geographisch auf einen Kontinent fokussiert, sondern wurde gleichermaßen in Amerika, Europa und Asien sowie in weiteren Teilen der Erde, bei denen eine physische und technologische Infrastruktur gewährleistet wird, vorangetrieben. In dieser Arbeit werden die zeitlichen Entwicklungsverläufe in Form von drei Zeitleisten, wie in **Abbildung 4.1** zu sehen ist, nur für die USA, die europäischen Länder und Technologien dargestellt. Für eine kurze historische Analyse des asiatischen Raums sei hier auf Wootton u. a. (1995) verwiesen.

Werden die Komponenten für ITS betrachtet, so stellt sich im historischen Kontext die Frage, ob zuerst Technologien oder die Ideen für eine intelligente und effiziente Verkehrs- und Transportgestaltung entwickelt wurden. Dass sich beides mittlerweile stark beeinflusst, wird durch die Ausrichtung der europäischen „Calls for proposal“ deutlich. Diese erwarten, dass sich eingereichte Projektanträge auf abgeschlossene Vorprojekte in diesem Bereich beziehen, sodass sowohl Prozessinnovationen als auch neue Technologien stets weiterentwickelt werden und somit den Nachhaltigkeitscharakter der Rahmenforschungsprogramme stärken.

Für die genaue Entstehungsgeschichte ist auch der monetäre Einsatz in diesem Gebiet zu berücksichtigen. Die einzelnen finanziellen Impulse nachzuverfolgen, gestaltet sich allerdings schwierig, weil sowohl die ITS-Unterstützung in geförderten Projekten zum Thema Verkehr als auch Informations- und Kommunikationstechnologien und Kooperationen verschiedener Akteure in diesem Sektor vorangetrieben werden.

Ebenso sind auf dem Gebiet der ITS viele europäische Projekte genehmigt, angelaufen und erfolgreich abgeschlossen worden (vgl. Rafiq u. a. 2013, Sitavancova und Hajek 2010), die jedoch von ihrem Pioniercharakter in diesem Gebiet nicht deutlich genug hervorgetreten sind und deshalb in **Abbildung 4.1** nicht aufgeführt werden.

⁴ Der methodische Zutritt in diesem Kapitel orientiert sich an die NOFOMA2016 und die LDIC2016 Tagung (vgl. Bäumler und Kotzab 2016, 2017a).

⁵ Bäumler und Kotzab (2017b) haben dazu erste Vorarbeiten geleistet.

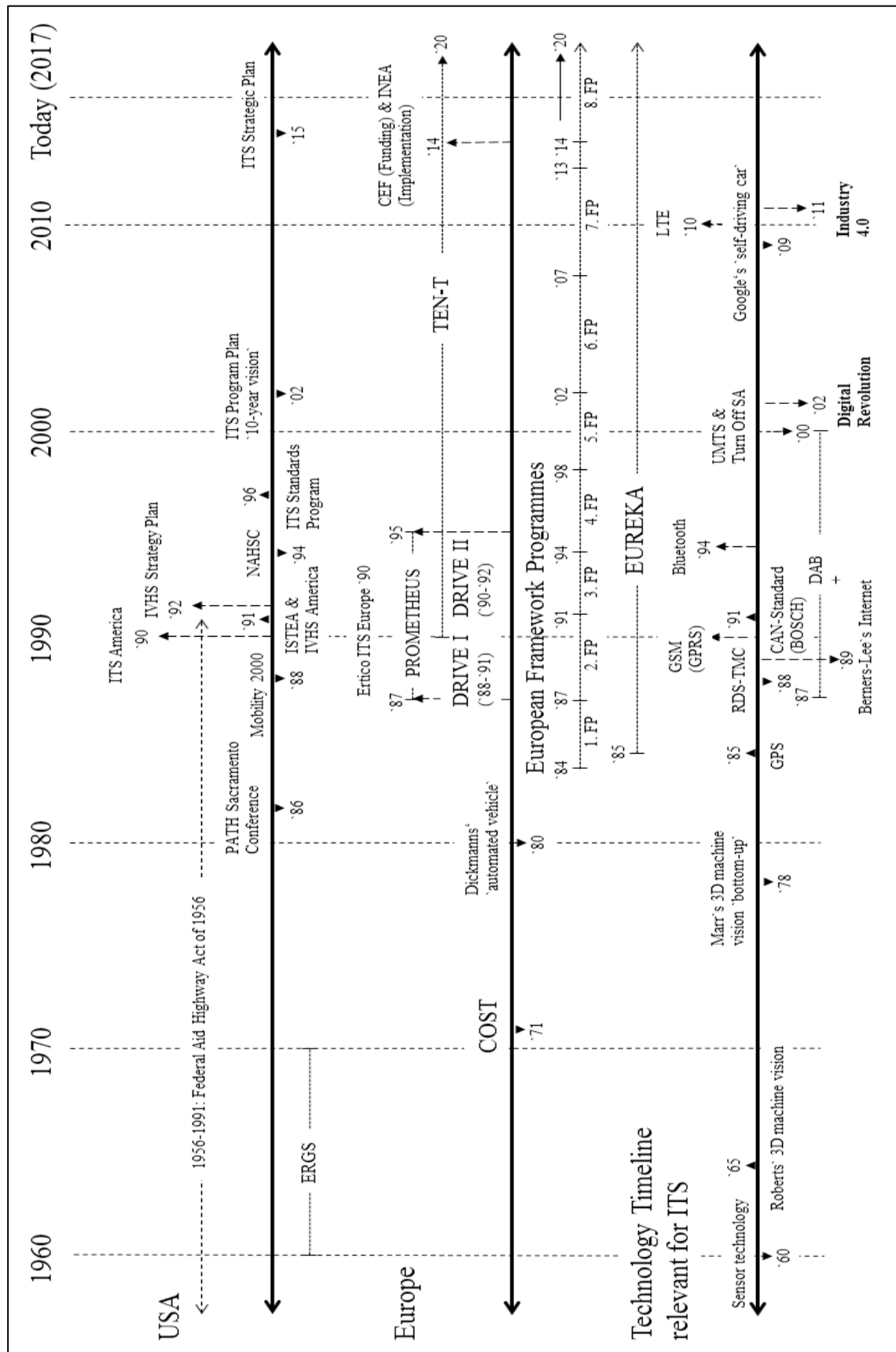


Abbildung 4.1 Zeitverläufe für die amerikanische und europäische ITS-Entwicklung, sowie für die technologischen Entwicklungen (für Abkürzungen siehe **Tabelle 4.1**) (Bäumler und Kotzab 2017b, S.131)

Tabelle 4.1 Abkürzungsverzeichnis für Abbildung 4.1 (Bäumler und Kotzab 2017b, S.132)

Abkürzung	Bedeutung
CAN	Controller Area Network
CEF	Connecting Europe Facility
COST	European Cooperation in Science and Technology
DRIVE	Dedicated Road Infrastructure for Vehicle Safety in Europe
ERGS	Electronic Route Guidance System
EUREKA	Pan-European network for market-oriented, industrial Research and Development
FP	Framework Programme
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communication
INEA	Innovation and Networks Executive Agency
ISTEA	Intermodal Surface Transportation Efficiency Act
ITS	Intelligent Transport Systems
IVHS	Intelligent Vehicle-Highway Systems
LTE	Long Term Evolution
NAHSC	National Automated Highway System Consortium
PATH	Program on Advanced Technology for the Highway
PROMETHEUS	Programme for a European Traffic of Highest Efficiency and Unprecedented Safety
RDS-TMC	Radio Data System- Traffic Message Channel
SA	Selective Availability
TEN-T	Trans-European Transport Networks
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System

Allerdings darf auch nicht außer Acht gelassen werden, dass technologische Errungenschaften aufgrund von Kommunikationsbarrieren, Wettbewerb und Geheimhaltung, gerade in Hinblick auf amerikanische und europäische Partnerschaften früher nicht über den Atlantik herüberreichten. Darüber hinaus wussten beide Kontinente nicht um den Fortschritt in genau dem gleichen Themengebiet (vgl. Shladover 2007). Dieser Umstand änderte sich 1985 und wurde durch regelmäßig abgehaltene Konferenzen (zum Beispiel SPIE, IEEE oder IFAC) ab 1986 gestärkt (vgl. Dickmanns 2002). Das führte sogar dazu, dass Präsentationsfolien von dem amerikanischen PATH-Programm in jene des europäischen PROMETHEUS Projekts, zwei wesentliche Vorreiterprojekte für ITS, Einzug hielten (vgl. Shladover 2007). Heutzutage ist die internationale Forschung ein treibender Motor und aufgrund starker Vernetzung und ausgereiftem Patentmanagement kein Hindernis mehr.

4.1.2 ITS-Entwicklung in den USA und den EU-Ländern

Historisch betrachtet vollzog sich die Entstehung von ITS in den USA und Europa auf ganz unterschiedliche Art und Weise (vgl. erste beiden Zeitleisten in **Abbildung 4.1**). In Europa konnten bereits 1980 erste vereinzelte und unabhängige Pionierprojekte in der autonomen Fahrzeug- und Routenführung verzeichnet werden (vgl. Der Spiegel 1978, Dickmanns 2002).

Beispielsweise wurde an der Universität der Bundeswehr in München an Bildverarbeitungs-
maschinen geforscht, die ein autonomes Fahren ermöglichen (vgl. Asche 1988).

Zu den Pionierprojekten in ITS für den europäischen Raum zählen das vom zweiten Frame-
work Programme geförderte DRIVE I Projekt aus dem Jahre 1988 und das von EUREKA ge-
förderte PROMETHEUS Projekt aus dem Jahre 1987. In beiden Projekten ging es darum, ein
Europa zu entwickeln, in dem Fahrer besser informiert sind, Fahrzeuge mit ihrer Umwelt
kommunizieren und neue Technologien Einzug in die Transportlandschaft halten können. Die
Ergebnisse beider Projekte führten zu vielen nachfolgenden Projektanträgen und neuen
Denkanstößen bei der Lösung der damaligen und heutigen Transportprobleme.

Die amerikanische Entwicklung in diesem Gebiet wurde hingegen durch einige wenige Per-
sönlichkeiten und Zusammenschlüsse vorangetrieben. Erste ITS-Anfänge konnten bereits
Mitte der 1950er Jahre durch das vom damaligen Präsidenten Eisenhower unterzeichnete
Gesetz zum Ausbau der Interstate Highway (vgl. Sussman 1993) und Anfang der 1960er Jahre
(vgl. Gardels 1960, Rosen u. a. 1970, Stephens u. a. 1969) im Bereich der elektronischen Rou-
tenführung und Fahrzeugsteuerung registriert werden. Nach einer ruhigen Phase der For-
schung im Bereich der intelligenten Transportgestaltung wurde durch den internationalen
Wettbewerbseifer die Forschungsintensität durch das California PATH-Programm, weitere
Zusammenschlüsse und Gesetze (Mobility 2000 (1988), IVHS AMERICA (1991), ISTEA (1991))
wieder erhöht (vgl. Wootton u. a. 1995).

Das California PATH-Programm gilt als der Beginn der ITS-Geschichte für den Norden Ameri-
kas (vgl. Shladover 2007). Nachdem 1991 aus ISTEA, 1992 der IVHS-Programmplan entstand,
nahmen die ITS-Entwicklung sowie die Nomenklatur an Fahrt auf. In 1994 wurde der IVHS-
Begriff, welcher einen starken Bezug zu Technologien für die Fahrzeugführung auf der Straße
hatte, durch ITS ersetzt, um den multimodalen und facettenreichen Ansatz von ITS zu stär-
ken (vgl. Auer u. a. 2016).

Einen wesentlichen Anteil an dem europäischen Fortschritt im ITS-Sektor hatten die landes-
übergreifenden Kooperationen und Finanzförderungen, wie das 1971 gegründete *COST-*
Programm, die 1985 gegründete europäische Initiative für marktnahe Forschung und Ent-
wicklung, *EUREKA*, und die seit 1984 ins Leben gerufenen *europäischen Forschungsrahmen-*
programme (FP). Sie förderten den länderübergreifenden wissenschaftlichen Austausch und
sorgten für eine europaweite Wissensvernetzung.

In Hinblick auf die FPs wurden die Forschungsbestrebungen sukzessive angepasst, erweitert
und parallel zum technologischen Fortschritt vorangetrieben. Sowohl bezogen auf die gesell-
schaftliche als auch technologische Reife in den europäischen Ländern stellen die unter-
schiedlichen FPs somit auch einen Spiegel der Zeit dar.

Aus amerikanischer Sicht war der Ausbau und somit die Erweiterung des Straßennetzes ab
1956 mit dem „Federal Aid Highway Act of 1956“ der Startpunkt für die Entwicklung von ITS.
Mit diesem Ausbau wurde die Basis geschaffen, um intelligente Straßenführung über weite
Distanzen zu erforschen. Ebenso kann das „Electronic route guidance system“ von 1960 als
erstes Signal für die Anstrengungen im ITS-Sektor verstanden werden (vgl. Rosen u. a. 1970).

In der Geschichte der USA wurde die Forschung im Bereich der ITS in Abhängigkeit zum regierenden Präsidenten beeinflusst. Präsident Eisenhower verabschiedete beispielsweise den Federal Aid Highway Act of 1956, wohingegen Präsident Reagen die Forschung im Transportsektor über die 1980er Jahre aufs Minimum reduzierte. Präsident Bush unterzeichnete dann wiederum ISTEA, womit die Transportforschung mit 660 Mio. \$ ausgestattet wurde (vgl. Shladover 2007).

4.1.3 Schlüsseltechnologien für ITS

Der eigentliche Durchbruch für ITS lag allerdings in der Entwicklung von modernen Mess-, Verarbeitungs-, Informations- und Kommunikationstechnologien. Ebenso waren globale Satellitennavigationssysteme für die automatische und dynamische Routenführung ausschlaggebend für die Entwicklung in diesem Bereich. Besonders die durch den damaligen amerikanischen Präsidenten Clinton angewiesene Abschaltung der Selective Availability (SA) für das GPS Signal sorgte um die Jahrtausendwende für einen weiteren Entwicklungsschub für die Routennavigation und Fahrzeugsteuerung (vgl. o. A. 2016).

Die dritte Zeitleiste in **Abbildung 4.1** zeigt die historische Entwicklung von Schlüsseltechnologien sowie Schlüsselereignissen, die den Fortschritt und die Entwicklung von ITS möglich gemacht haben. Neben den aufgeführten technologischen Entwicklungen sind auch weitere Neuerungen existierender Hard- und Software bekannt. Beispiele finden sich in der Entwicklung von Mikro- und Nanotechnologien, Steuerelementen zur Datenaufnahme, -weitergabe und -verarbeitung, Algorithmen für Maschinendenken (vgl. Vlacic 2001), sowie in der Entwicklung verschiedenster Sensoren zur Erkennung und Messung unterschiedlicher Zustände mit mechanischen, optischen, chemischen, biologischen und magnetischen Sensoren (vgl. Ahsan u. a. 2014). Allein dieser Punkt wäre bereits ein interessanter Ansatz für eine historische Betrachtung. Eine detaillierte Aufführung wird in diesem Unterkapitel nicht verfolgt, weshalb es bei der übergeordneten Betrachtung von Sensortechnologie blieb.

Nach Middelhoek (2000) wurden im Bereich der Sensortechnologie große Fortschritte erzielt nachdem Germanium und später Silizium abgebaut werden konnte. Anfang der 1960er Jahre begann die Forschung im Bereich der Siliziumsensortechnologie, die gleichermaßen auf beiden Seiten des Atlantiks gefördert und betrieben wurde. Interessant zu erwähnen ist, dass in diesem Kontext das erste amerikanische Forschungsprogramm 1965 an der Stanford University in Palo Alto und das erste europäische Forschungsprogramm drei Jahre später 1968 an der University of Twente in Enschede gestartet wurde (vgl. Middelhoek 2000).

Ebenso bedeutend ist im Bereich der Technologie-Erforschung die Entstehung mechanischer Bilderkennung. Erste Ansätze zur maschinellen 3D Erkennung von 2D Bildern lieferte Roberts 1965, indem er einen Algorithmus entwickelte, der gespeicherte 3D Objekte anhand ihrer Eckpunkte mit 2D Objekten verglich. Dieses Verfahren war allerdings nur bei simplen mehrflächigen Objekten erfolgreich (vgl. Pizlo 2010). Erst durch Marrs *bottom-up approach for scene understanding* wurde es möglich weitere Objekte schrittweise von 2D- in 3D-Formen zu übertragen, was wiederum die maschinelle Interpretationskraft revolutionierte (vgl. Marr 1982). Der Einsatz maschineller Sehkraft wurde kurz darauf in dem bereits erwähnten PRO-

METHEUS-Forschungsprojekt für Straßenfahrzeuge getestet und angewendet. Wurde vor 20 Jahren noch über die Weiterentwicklung von Sensorempfindlichkeitswerten und Bildauswertungskapazitäten für leistungsstärkere Computer und maschinelle Interpretationskraft gesprochen (vgl. Sprado 1997), so sind autonom fahrende Fahrzeuge heute bereits einsetzbar und in Testung (waymo.com, tesla.com, mercedes-benz.com).

4.1.4 Abschließende Bemerkungen über die historische ITS-Entwicklung

Es hat sich gezeigt, dass erste Bemühungen Anfang der 60er Jahre deutlich wurden. Allerdings konnte erst durch den technologischen Fortschritt massiv an intelligenten Systemen für eine bessere Transportplanung geforscht werden. Anfangs noch unabhängig voneinander wurde Ende der 80er, Anfang der 90er Jahre gestärkt durch internationale Vernetzung und Wettbewerbseifer auf beiden Seiten des Atlantiks an ITS geforscht.

Wichtige Schlüsselfaktoren waren die Erforschung geeigneter Sensortechnologie, maschinellen Sehens und Interpretierens, GPS, Schnittstellenstandards (CAN) sowie analoger und digitaler Übertragungstechnologien. Eine Verbesserung der Sendeleistung über den UMTS-Standard und die Abschaltung der SA Anfang der Jahrtausendwende führte dazu, dass ITS noch effizienter und komplexer wurden. Dies hatte eine bessere Routennavigation und eine detailliertere Informationsbasis für die Anwender zur Folge.

Mittlerweile ist durch die digitale Revolution und den Trend hin zu intelligenten und autonomen Wirtschaftsobjekten, bekannt unter der vierten industriellen Revolution „Industrie 4.0“, in den westlichen Ländern ein starker Anstieg an intelligenten Transportlösungen zu verzeichnen. Gleichwohl gibt es aufgrund baulicher Restriktionen und steigenden Verkehrsaufkommens keine Alternative, um mit den Gefahren eines drohenden Verkehrschaos umzugehen.

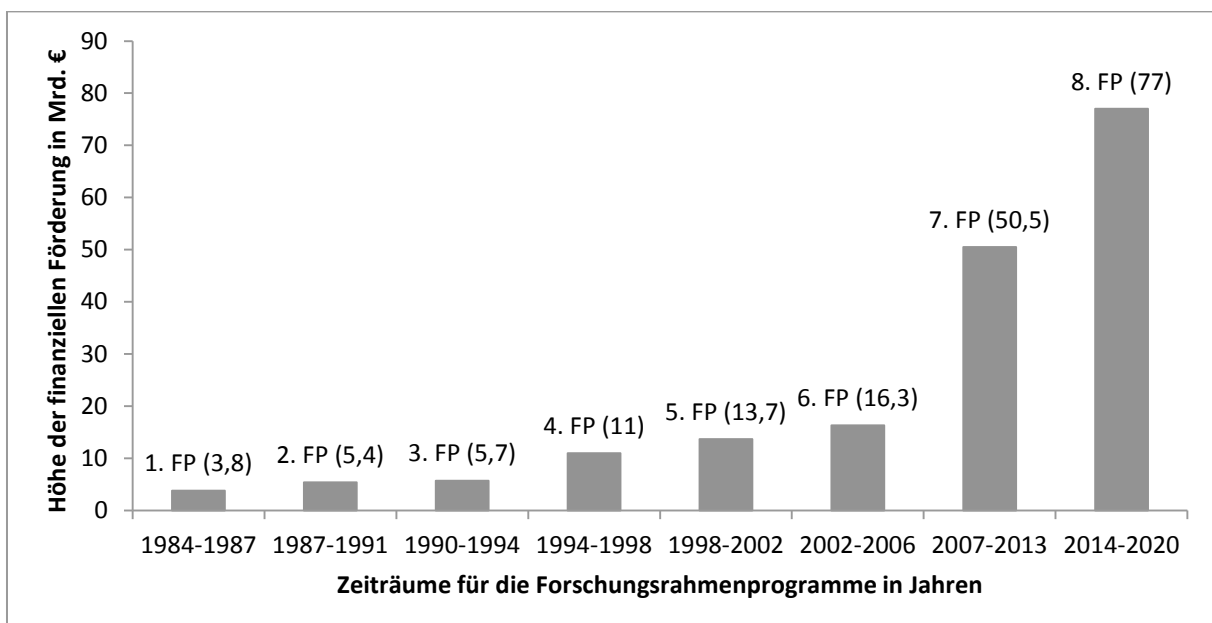


Abbildung 4.2 Europäische Forschungsrahmenprogramme (FP) und deren Budgetierung

Dieses Problem wurde auf beiden Seiten des Atlantiks früh erkannt (vgl. Haass 1995, Sussman 2005) und war maßgeblich für die Ausgestaltung von Forschungsausrichtungen (PATH-Program, Mobility 2000) und FPs verantwortlich. Während das erste FP mit 3,3 Mrd. ECU gefördert wurde ist mittlerweile der Förderbetrag auf 87 Mrd. € gestiegen (vgl. **Abbildung 4.2**). Erst mit dem zweiten FP wurde die Forschungsförderung und somit auch die Forschungsziele, die durch die Europäische Kommission festgelegt wurden, für die Transportlandschaft konkretisiert, indem die Telekommunikationstechnologien neben vielen weiteren Bereichen auch im Transportsektor implementiert werden sollten (vgl. Commission of the european communities 1992). Dies führte auch zu dem erwähnten richtungsweisenden DRIVE I Projekt. Für weiteren Wettbewerbseifer sorgte auch das japanische „Comprehensive Automobile Traffic Control System (CACs)“-Programm aus dem Jahre 1976.

Insgesamt wird mit den abgebildeten historischen Ereignissen in **Abbildung 4.1** kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben. Eine feinmaschigere Auflistung der Ereignisse könnte aber zu einem tieferen Verständnis und vielleicht auch noch zu weiteren interessanten Entwicklungen und Sichtweisen in diesem Bereich führen, worauf aber vor dem Hintergrund des eigentlichen Themas dieser Arbeit verzichtet wird.

4.2 Forschung im Bereich des Flottenmanagements

4.2.1 Allgemeine Vorstellung des Flottenmanagements

Die Literatursuche für aktuelle Forschungsarbeiten in jeder Kategorie wurde mit den Suchbegriffen aus den vier vorgestellten Kategorien sowie mit den Zusätzen „telematics“, „freight transport“, „haulier transport“, „truck transport“ und „intelligent transport system“ in der wissenschaftlichen Fachdatenbank *Scopus* durchgeführt.

Das Flottenmanagement hat die vier Hauptaufgaben: Fahrzeugbeschaffung, Wartung, Kostenkontrolle sowie Fahrzeugeinsatzplanung (Vgl. **Kap. 3.3.2**). Einen wichtigen Bestandteil bei der optimalen Warenlieferung mit dem Lkw spielen die Kommunikation mit dem Berufskraftfahrer und die Einhaltung der Lenk- und Ruhezeiten. Allerdings setzen die gesetzlich vorgeschriebenen Lenk- und Ruhezeiten den Berufskraftfahrer dahingehend unter Druck, dass dieser bei einer vollen Rastanlage nicht einfach die nächste anfahren kann, da er womöglich dann seine Lenkzeiten überschreiten würde. Die Konsequenz ist, dass viele Lkws illegal an Ausfahrten oder auf Durchfahrtsstraßen abgestellt werden.

Diesem Umstand geschuldet wurden 2008 und 2013 vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung in Auftrag gegebene Parkstandserhebungen auf dem deutschen überörtlichen Straßenverkehrsnetz durchgeführt. Die erste Zählung vorhandener Parkstände zeigte ein Defizit von 14.000 Lkw-Stellplätzen (vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 2011). Nach hohen Investitionen in den Neu-, Um- und Ausbau von Raststätten und vorhandenen Parkplatzbeständen wurde 2013 eine erneute Zählung in Auftrag gegeben. Zwar hatte sich prozentual das Parkstandsdefizit verringert, allerdings ist aufgrund des Güterverkehrszuwachses, absolut ein vergleichbar hohes Parkraumdefizit bestehen geblieben (vgl. Dierke u. a. 2016). Dass die Einhaltung der Lenk- und Ruhezeiten ein wichtiges

und aktuelles Thema darstellt, zeigen die immer noch täglich aufkommenden Verkehrsunfälle, bei denen übermüdete Fahrer von Schwerlasttransportern verwickelt sind.

Da es Fuhrparkunternehmen und Speditionen wichtig ist, die Gesetze bezüglich der Lenk- und Ruhezeiten einzuhalten, um dadurch auch indirekt das Unfallrisiko zu minimieren und dem Fahrer zuverlässige und der transportierten Ware sichere Parkräume zu gewähren, gehören (intelligente) Lösungen zur Reduzierung des Parkraumdefizits somit zum Flottenmanagement und werden thematisch in diese Kategorie eingeordnet.

Mittlerweile werden neben weiteren baulichen Maßnahmen zur Erhöhung der Parkbestände auch intelligente Parkraumlösungen zur effizienteren Nutzung vorhandener Parkraumbestände erforscht. Intelligente Parkraumlösungen erfordern in diesem Kontext nicht zwangsläufig den Einsatz „intelligenter“ oder „selbstdenkender“ Technologien, sondern auch Systemlösungen, die zu einer besseren Planungsgrundlage und effizienteren Ausnutzung vorhandener Parkraumkapazitäten beitragen. Dazu zählen telematisches Parkraummanagement, dynamische Parkstandsanzeigen, sowie weitere nicht telematische Parkraumlösungen wie das Bereitstellen von Parkflächen in von den Autobahnabschnitten nahegelegenen privaten Speditions- und Fuhrparkhöfen.

4.2.2 Überblick zu den Forschungsarbeiten im Bereich des Flottenmanagements

Nijkamp und Pepping (1996) untersuchten das Potential von Telematiksystemen für den Transportsektor und die Akzeptanz der Nutzergruppen. Sie stellten heraus, dass die vollständige Akzeptanz der öffentlichen Nutzergruppen zum Erfolg solcher Systeme beitragen. Aus der Sicht des Flottenmanagements wurde erkannt, dass eine direkte Verbindung aus der Zentrale zum Fahrer von Vorteil ist. Anderson u. a. (1996) erkannten das Problem der mangelnden Vergleichbarkeit bezogen auf die Kosten und Nutzen einer Anschaffung, die ein mobiles Telefonieren ermöglicht. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass das ermittelte Verhältnis zwischen den Kosten und dem Nutzen für eine Investition akzeptabel sei.

Léonardi und Baumgartner (2004) untersuchten den Straßengüterverkehr aus Sicht der Umweltverträglichkeit und in Hinblick darauf, wie sich die Fahrleistung pro kg CO₂ in Abhängigkeit eingesetzter telematischer Technologien verändert, und führten eine Umfrage bei 50 deutschen Speditionsunternehmen durch. Die Untersuchung wurde vor und nach Einführung telematischer Unterstützungssysteme durchgeführt. Sie ermittelten, dass sich die CO₂-Effizienz pro Tonnenkilometer nach Einbau von IT-basierter Routenplanung oder nach Einsatz von telematischen Übertragungstechnologien für Kommunikation, Position und Navigation verbesserte. Dabei wurden anhand 200 durchgeführter Interviews mit britischen und deutschen Speditionsunternehmen vier Hauptbereiche identifiziert, in denen eine Veränderung möglich ist und somit eine Verbesserung der CO₂-Effizienz zur Folge hat (vgl. Department of Environment, Transport and Regions 2002). Demnach können Maßnahmen im eigentlichen Logistikprozess erfolgen. Darunter fallen bspw. die optimale Wahl des passenden für die Aufgabe geeigneten Fahrzeugs und die Optimierung der gesamten Supply Chain. Weiterhin sind Maßnahmen im Bereich der Fahrzeugeffizienz möglich. Hier sind sowohl das Fahrzeugdesign als auch wirtschaftlichere Verbrennungsmotoren zur Steigerung der Effizienz

möglich. Des Weiteren gibt es den Bereich der Fahrer. Diese können durch Schulungen und Unterstützungssoftware auf eine lohnendere Fahrweise hintrainiert werden. Als letzter Bereich wird die Routennavigation genannt. Hier kann durch fortlaufende und aktuelle Routeninformationen die Transporteffizienz gesteigert werden.

In der Arbeit von Zajicek und Schechtner (2005) wurde ein System vorgestellt, mit dem eine flächendeckende Überwachung von Gefahrgut- und Schwerlasttransporten möglich ist. Hierzu werden lediglich ein Datenbanksystem zur Speicherung von transportiertem Gefahrgut und Schwerlasten, sowie ein leistungsstarkes Expertensystem zur Verarbeitung und Vernetzung hereinkommender Informationen benötigt.

Zeimpekis u. a. (2005) beschäftigten sich mit dynamischen Flottenmanagementsystemen für den städtischen Verkehrsraum. Das von ihnen entwickelte System reagiert dynamisch in einem Drei-Schritt-Verfahren auf Unvorhergesehenes im urbanen Verkehr. Zu den unvorhergesehenen Ereignissen bei der Distribution im innerstädtischen Raum gehören: Staus, Verkehrsstörungen wie Unfälle, Proteste oder Märkte, keine/mangelnde Anlieferflächen oder falsche Sortierung der Ladefläche, mechanischer Schaden, neuer oder angepasster Kundenauftrag.

Baumgartner u. a. (2008) analysierten, welche Technologien für das Flottenmanagement den höchsten Einfluss auf die Reduzierung von CO₂-Abgasen haben. Zu den untersuchten Technologien gehörten Software für eine rechnergestützte Routenplanung, Telematiksysteme zur Ortung und Kommunikation sowie in der Fahrerkabine angebrachte Anzeigesysteme (OBU [eng. On-board unit]). Letztere können generelle Informationen wie Datum, Uhrzeit, Fahrer- und Fahrzeugdaten bieten. Ebenso können spezifische Informationen wie das Fahrverhalten, die Routenschwierigkeit, technische Fahrzeugwerte (Öl, Reifendruck, Bremsabnutzung etc.) und zusätzliche Informationen wie der Kopplungsstatus oder der Frachtraum angezeigt werden. Baumgartner u. a. (2008) zeigen, dass nach Einschätzung der befragten Transportunternehmen eine rechnergestützte Routenplanung in Verbindung mit Echtzeit-Routenanpassung in Abhängigkeit der Verkehrslage sowie die kontinuierliche Anzeige der Laderaumauslastung eine hohe Relevanz zur Reduzierung von Kraftstoffverbrauch aufweisen. Hingegen haben statistische Auswertungen historischer Routen und die Einführung neuer Barcodescanner einen mittleren Einfluss auf CO₂-Abgase. Einen geringen Einfluss auf die Transportindustrie haben eine angepasste Navigationssoftware sowie die Einbindung von Verkehrsinformationen in die Routennavigation. Ebenso seien Stabilitätsverbesserungen der Flottenmanagementsysteme zwar wichtig, für die Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs aber lediglich von geringem Interesse.

Crainic u. a. (2009) fokussierten sich in ihrer Arbeit auf den Straßengüterverkehr mittels ITS, im Speziellen mit Commercial Vehicle Operations (CVO), Flottenmanagementsystemen, City-Logistik und „e-business“. Sie sehen die Entwicklung von ITS im Straßengüterverkehr in drei hauptsächlichen Ausrichtungen. In der ersten Ausrichtung geht es um Fahrzeuge und die Infrastruktur. In der zweiten Ausrichtung geht es um Steuerelemente, Technologien zum Orten und Nachverfolgen als auch Hardware zum Kommunizieren. Die dritte Ausrichtung

bezieht sich auf Methoden, Modelle und Algorithmen zur Verarbeitung vorhandener Daten. Sie argumentieren weiterhin, dass die intelligente Verarbeitung vorhandener Daten bei der Erfindung und Ausarbeitung neuer ITS im Vordergrund stehen sollte.

Die Gruppe um Kapsalis u. a. (2010) entwickelte ein regelbasiertes Flottenmanagement für Gefahrguttransporte mit Echtzeit-Überwachung und einem Event-Control-Action-Modul. Dieses Modul arbeitet auf zwei Ebenen. Auf der ersten Ebene werden wichtige und weniger wichtige Ereignisse eingetragen. Auf der zweiten Ebene werden Reaktionen auf diese Ereignisse festgelegt. Diese Kontrollinstanz kann sowohl in der Fahrerkabine als auch in der Flottenzentrale eingesetzt werden. Sie ermöglicht ein transparentes Flottenmanagement, Tracking und Tracing und einen sicheren Warentransport.

Bielli u. a. (2011) ermittelten Herausforderungen im Flottenmanagement und stellten die aktuellen Entwicklungen bezüglich mathematischer Modelle und Algorithmen in diesem Bereich dar. Sie konstatierten, dass erhebliche Anstrengungen und Entwicklungen im Flottenmanagement aufgrund von Methoden aus dem Operations Research und Management Science entstanden sind. Darunter fallen Modelle und Simulationen, Verfahren zum optimalen Transportmitteleinsatz, Entscheidungsunterstützungssysteme, heuristische Verfahren und Benchmark-Analysen.

Santa u. a. (2012) untersuchten, inwieweit Informations- und Kommunikationstechnologien im Zusammenwirken mit der Fahrzeugelektronik zur Verbesserung einer gesamten Transportkette bezogen auf Effizienz, Management, Sicherung und Qualität des Produktes beitragen können.

In der Arbeit von Ehmke u. a. (2012) wurden Planungssysteme für Lieferrouten betrachtet. Insgesamt wurde aufgezeigt, dass die Routenplanung unter Einbezug aktueller, durch telematische Technologien gewonnener Verkehrsdaten, zu einer Verbesserung der Lieferperformance gegenüber dem statischen Annehmen gegebener Durchschnittszeiten führt.

Hu und Sheng (2014) entwickelten ein Entscheidungsunterstützungsmodell zur besseren Zuordnung von Gütern und Transportfahrzeugen. Das Ziel war es, Leerfahrten zu minimieren und dadurch die Logistikkosten, Lärm- und Abgasemissionen zu reduzieren. Zu den Entscheidungskriterien gehörten die Transportfähigkeiten eines Fahrzeugs und die benötigte Lieferqualität eines Auftrags. Zur Auffindbarkeit verfügbarer leerer Lkw wurde Ortungs- und Positionierungstechnologie verwendet. Im Entscheidungsunterstützungsmodell wurden hauptsächlich vier Elemente miteinander verbunden. Zuerst wurden die beiden Serviceobjekte Ware und Transportfahrzeug betrachtet, im zweiten Schritt wurde auf Grundlage eines geografischen Informationsmodells ein Logistiknetzwerk erzeugt. Das dritte Element entsprach der Modellierungsebene, die Algorithmen zur Echtzeit-Planung und Zuordnung von Gütern und Fahrzeugen erstellte. Als viertes Element wurden zusätzliche Entscheidungsfaktoren aus dem Bereich Finanz-, Personal-, Informations- und Vertrauensmanagement hinzugefügt.

Walnum und Simonsen (2015) analysierten in einem norwegischen Schwerlast-Transportunternehmen verschiedene kraftstoffverbrauchende Faktoren. Die Daten wurden durch das Flottenmanagementsystem *Dynafleet* von Volvo Truck Corporation erhoben. Die

Ergebnisse zeigen, dass die Straßeninfrastruktur einen 10- bis 12-mal höheren Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch hat als das Fahrverhalten des Fahrers. Trotz allem hat ein optimales Schalten, Fahren im Leerlauf, effizientes Bremsen und Nutzen von fortgeschrittenen Fahrerassistenzsystemen (ACC) einen nicht zu vernachlässigenden Anteil am Kraftstoffverbrauch.

In der Arbeit von Pascale u. a. (2015) ging es darum, typische Geschwindigkeitsmuster von Lkw zu bestimmen und zu analysieren, um daraus Anomalien für den Autobahnverkehr zu bestimmen. Der Fokus dieser Arbeit lag in der Beweisführung, dass Floating-Car-Data und stationäre Verkehrsbeobachter die Verkehrssituation richtig wiedergeben können.

4.2.3 Überblick zu den Forschungsarbeiten für Lkw-Parkraumlösungen⁶

In 2005 wurde erstmals auf der Rastanlage Montabaur auf der A3 gezeigt, dass Lkw in Kolonnen parken können. „Telematics Controlled Parking“ teilte Lkw in Abhängigkeit ihrer geplanten Abfahrtszeit eine Parkreihe zu. Bis 2012 mussten die Berufskraftfahrer am Terminal vor der Einfahrt zu den Parkflächen die geplante Abfahrtszeit sowie Lkw-Länge angeben. Seit 2012 wird die Länge des Lkw automatisch detektiert (vgl. Follmann und Menge 2009).

Beim „Intelligent Controlled Compact Parking“ entscheiden die Fahrer anhand von über allen Parkreihen angebrachten Abfahrtsanzeigen und in Abhängigkeit ihrer Abfahrtszeit, in welcher Parkreihe sie parken möchten. Ein Laserscanner erkennt, ob in einer Reihe noch ein max. 20 m langer Lkw parken kann. Sobald eine Parkreihe voll ist, wird die benachbarte Reihe für dieselbe Abfahrtszeit freigegeben. Entsprechend der Parkraumsituation werden die Uhrzeiten auf den Anzeigetafeln angepasst. Aufgrund der einfachen Anbringung einer röhrenförmigen Stahlgitterkonstruktion oberhalb der Parkreiheneinfahrten kann eine schnelle und kostengünstige Parkraumerweiterung erreicht werden.

Sowohl das „Telematics Controlled Parking“ als auch das „Intelligent Controlled Compact Parking“ ermöglichen es, zusätzliche Parkflächen für Lkws zu schaffen ohne dabei weitreichende bauliche Maßnahmen zu ergreifen. Bei beiden Systemen wird die mittlere Fahrspur zwischen zwei Lkw-Parkreihen als zusätzlicher Parkplatz genutzt.

Die Fülle an unterschiedlichen Parksyste men haben Revathi und Dhulipala (2012) zum Anlass genommen eine Bestandsaufnahme aller Parksyste me vorzunehmen. Sie führen eine umfassende Aufstellung möglicher Parksuchstrategien und verwendeter technologischer Bestandteilen auf. Demnach gehören Infrarot-, Gewichts-, magnetische und piezoelektronische Sensoren, aber auch Bild- und automatische Nummernschilderkennung (ANPR) zu üblichen Technologien bei der intelligenten Parkraumvergabe. Je nach Art der Parkstandsdetektion (über- oder unterirdisch) sind unterschiedliche Systemkombinationen denkbar.

⁶ Die hier dargestellten Lösungen zur Erweiterung und effizienteren Nutzung der Parkplatzkapazität wurden auf der TRA2018 in Wien vorgestellt (vgl. Bäumler und Kotzab 2018).

Tabelle 4.2 Klassifizierung von intelligenten Parkraummanagementsystemen

System- klassifizierung	Beschreibung
Expertensysteme	Experten (auch Agenten genannt) repräsentieren Elemente der betrachteten Systeme und nehmen deren Eigenschaften und Verhalten an. Unter Umständen können solche Systeme dann selbstständig handeln. In Bezug auf intelligentes Parkraummanagement können Agentensysteme neben der Reduzierung des Datentransfers auch eine optimale Parkraumzuordnung unter Einbezug weiterer Aspekte (z. B. Parkgebühren oder Distanz zum Parkraum) für die Verkehrsteilnehmer vornehmen. Diese Systeme werden hauptsächlich in dynamischen Umfeldern mit vielen Verknüpfungen eingesetzt (vgl. Longfei u. a. 2009).
Systeme basierend auf „Fuzzy logic“	Fuzzy-Theorie beschreibt ein Verfahren, bei dem Systeme von Experten lernen und deren Entscheidungen und Steuerungen aneignen, sodass bei ähnlichen Situationen das System unterstützend eingreifen kann. In Kombination mit weiteren Sensoren und Bilderkennung können solche Systeme in kürzerer Zeit Parkstände finden und dem Fahrer in Abhängigkeit der gewährten Autonomie beim Einparken helfen.
Systeme basierend auf kabellosen Sensoren	Bei den <i>Wireless Sensor Networks</i> (WSN) kann eine Fläche über Video-detektion oder Sensorik erfasst werden. Die Sensoren übermitteln ihre aktuellen Zustände über die Empfänger, die wiederum die Daten zusammenfassen und daraus Parkmöglichkeiten für die Nutzer herausarbeiten. Die Sensoren können entweder unter der Parkfläche auf Drucksignale, oder über der Parkfläche mittels Radar oder Infrarot reagieren.
Systeme basierend auf GPS-Daten	GPS-basierte Systeme stellen eine sehr einfache, aber auch ungenaue Art der Parkraumvergabe dar. Dem Fahrer werden in Abhängigkeit seiner Koordinaten die nächsten Parkräume aufgezeigt. Pullola u. a. (2007) entwerfen auf Grundlage von GPS-Daten und historischen Parkstands-werten Wahrscheinlichkeitsverteilungen für bestimmte Parkräume.
Systeme basierend auf Kommunikation zwischen den Fahrzeugen	Drei Effekte werden bei Lu u. a. (2010) erzielt: Echtzeit-Navigation zum Parkplatz, Antidiebstahlschutz, leicht zugängliche Informationsbereitstellung. Mithilfe von Fahrzeug-zu-Fahrzeug- und Sendemastkommunikation können eine große Parkfläche überwacht und Parkstände zugeordnet werden.
Systeme basierend auf intelligenter Bilderkennung	Bilderkennungsbasierte Systeme funktionieren mittels installierten Kameras und einer Software, die anhand von Kantenmustern Fahrzeuge erkennt und somit belegte oder freie Parkstände anzeigt. Im Vergleich zu den sensorbasierten Systemen liegen die Nachteile im Kostenfaktor und in dem hohen Datentransfer (vgl. Faheem u. a. 2014).

Faheem u. a. (2014) klassifizierten grundlegende Ansätze zum intelligenten Bereitstellen von Parkflächen für Pkw. Diese werden hier ebenfalls aufgeführt, da bereits durch geringfügige Abwandlungen der vorgestellten Systeme auch der Einsatz für Lkw-Parkplätze denkbar wäre. So lassen sich nach deren Einschätzung sechs Hauptansätze erkennen. Diese sind in **Tabelle 4.2** dargestellt.

In Chen u. a. (2016) wird eine intelligente Parkraumdetektion mittels magnetischer Sensoren und kabellosen Sensornetzwerks ermöglicht. Die Systemarchitektur besteht aus den Schichten: Detektion, Zugang und Zusammenführung. Jene präsentieren drei unterschiedliche komplexe Detektionssysteme, die sich an der Anzahl der am System angeschlossenen Sensoren bemisst. Diese Sensoren (Schicht 1) kommunizieren mit sichtbaren Empfängern (Schicht 2), die wiederum die Daten der Parkstandssensoren an die Basisstation (Schicht 3) schicken. Über die Basisstation werden dann die Informationen per Funk oder Festleitung an die Nutzer weitergeleitet.

Dynamische Parkstandsanzeigen setzen bei dem Informationsdefizit der Verkehrsteilnehmer über die Parkplatzverfügbarkeit stark frequentierter Tank- und Rastanlagen (TRA) an. Über Sensoren und Bilderkennungssysteme werden die verfügbaren Parkstände an eine Datenbank gemeldet. Diese Informationen werden dann von einem externen Dienstleister oder einer Zentrale zusammengeführt und auf an den Autobahnen angebrachten variablen Anzeigetafeln an die Verkehrsteilnehmer übermittelt. Neben der unmittelbaren TRA wird auch die Parkraumverfügbarkeit der nächsten TRA angezeigt, sodass der Fahrer abschätzen kann, ob eine direkte Anfahrt des unmittelbaren oder darauffolgenden Parkplatzes sinnvoller ist.

Aufgrund der weiten Entfernungen der angezeigten TRAs könnte es unter Umständen sein, dass eigentlich freie Parkplätze bei Einfahrt oder Erreichen bereits durch andere Verkehrsteilnehmer belegt werden. Diesem Problem haben sich Capdevila u. a. (2013) gewidmet. Sie entwickelten ein Parkplatzreservierungsmodell, bei dem LKW-Parkplätze in Abhängigkeit der gewählten Fahrerpräferenzen und verbliebenen Lenk- und Ruhezeiten zugewiesen werden.

Eine andere Möglichkeit zur Generierung von zusätzlichen Lkw-Parkständen bietet das kürzlich von Bosch und dem Speditionsunternehmen Gebrüder Weiss gestartete Projekt zum Teilen von unternehmenseigenen Parkflächen. Nahe an der Autobahn gelegene Unternehmen können ihre vorhandenen Lkw-Parkflächen auf einer von Bosch angebotenen Internetplattform anbieten. Diese Stellflächen können dann von anderen Speditions-, Fuhrparkbetrieben oder Berufskraftfahrern reserviert werden. Durch dieses Angebot können zusätzliche Kapazitäten ohne bauliche Maßnahmen geschaffen werden (vgl. DVZ Logistik & Verlader 2017).

Einen neuartigen und generellen Ansatz zur Analyse der Einsatzfähigkeit telematischer Parkraumlösungen an stark defizitären Autobahnabschnitten liefern Bäumler und Kotzab (2018). Sie untersuchten die vorhandenen TRAs in Abhängigkeit ihres Angebots auf den betroffenen Autobahnabschnitten. Dazu nutzten sie „Google Earth“-Satellitenbilder, um einen Überblick über die räumlichen Gegebenheiten jeder TRA entlang der defizitären Autobahnabschnitte zu erhalten. Anschließend ermittelten sie die mögliche Kapazitätserweiterung durch Einsatz

telematischer und nicht-telematischer Parkraumlösungen. Abhängig von der Anzahl möglicher Lkw-Parkstände und angebotener Dienstleistungen (WC-Anlage, Gastronomie und Tankstation) unterteilten sie die 151 vorhandenen Tank- und Rastanlagen in sieben Kategorien. Sie ermittelten einen möglichen Kapazitätsgewinn an zusätzlichen Lkw-Parkständen in Tank- und Rastanlagen der Kategorie 7 (mehr als 100 Lkw-Parkstände) von 33,6%, 22,7% bei Kategorie 6-Anlagen (zwischen 50-100 Parkstände) und 30,7% bei Kategorie 5-Anlagen (weniger als 50 Parkstände bei vollem Serviceangebot) beim Einsatz von telematischem Kompaktparken.

4.3 Forschung im Bereich der Mautsysteme

4.3.1 Allgemeine Vorstellung von Mautsystemen

Für Sorensen und Taylor (2005) sind die Schaffung einer Einnahmequelle und Steuerung des Verkehrs die beiden Hauptgründe für die Einführung gebührenpflichtiger Straßen. Die Schaffung einer Einnahmequelle kann drei Ziele verfolgen: a) Generierung von Einnahmen zur Straßensanierung; b) gerechte Kostenallokation nach dem Verursacherprinzip; c) finanzielle Beteiligung ausländischer Verkehrsteilnehmer an den verursachten Straßenschäden. Mautsysteme zur Verkehrssteuerung können ebenfalls in drei Ziele unterteilt werden: a) Angebot staufreier Alternativfahrbahnen; b) Senkung des Verkehrsaufkommens; c) verbesserte Nutzung nicht ausgelasteter Kapazitäten. Aufgrund der effizienten Mautbegleichung liegen weitere ökonomische wie auch ökologische Vorteile in der Kraftstoffeinsparung durch gleichmäßiges Fahren, weil nicht mehr angehalten werden muss, um eine Maut zu begleichen oder eine Vignette zu kaufen. Damit einhergehend ist auch eine Reduzierung der Schadstoffemissionen zu realisieren. Ebenso ist auch eine kostengünstige Erweiterung des Mautsystems auf weitere Straßenarten möglich, sodass das Verhältnis zwischen den Kosten und dem Nutzen mit Vergrößerung der Straßenarten und Fahrzeugklassen besser wird (vgl. Nowacki u. a. 2010).

Zur Erfüllung der technischen Anforderungen besteht jedes Mautsystem aus einer dem Mautgrund angepassten individuellen Kombination aus den in **Tabelle 4.3** aufgeführten Technologien.

Tabelle 4.3 Vorhandene Technologien für die Umsetzung von Mautsystemen (vgl. Iseki und Demisch 2012)

Technologie	Beschreibung
On-Board Unit (OBU)	OBUs sind in der Fahrerkabine installierte Endnutzergeräte, die eine Reihe von Aufgaben erledigen können und durch eingebaute Module eine Bandbreite an Funktionen besitzen. Zu den Aufgaben können gehören: Speicherung von Fahrzeugdaten, Verwalten von Verkehrsinformationen und empfangenen Nachrichten, Mautkalkulation, Ortung, optische und akustische Signale, Datenübertragung, Datenverschlüsselung. Zu den eingebauten Erweiterungsmodulen zählen: GPS, GSM, DSRC, GIS.

Technologie	Beschreibung
Globales Navigations-satellitensystem (GNSS)	Mit GNSS wird eine Positionsbestimmung und Routennavigation mittels Satelliten ermöglicht (dreidimensionaler Raum mind. 4 Satelliten, zweidimensionaler Raum mind. 3 Satelliten). Zurzeit basieren die Satellitensysteme entweder auf dem amerikanischen GPS oder auf dem russischen GLONASS. In der Zukunft (ca. 2020) soll das europäische Satellitensystem GALILEO eingesetzt werden. GNSS-basierte Mautsysteme berechnen eine distanzbasierte Mautgebühr auf Grundlage der Positionsdaten.
Geo-informations-systeme (GIS)	GIS werden als Zusatzmodul in OBUs implementiert und erfassen, bearbeiten, organisieren, analysieren und präsentieren räumliche Daten.
Elektronische Hodometer	Hodometer werden in distanzbasierten Mautsystemen eingesetzt. Dabei wird eine Verbindung zwischen dem Kilometerzähler des Fahrzeugs und der OBU erstellt. In manchen Fällen ermöglichen elektronische Hodometer eine Koppelnavigation wenn die Verbindung zum GNSS abbricht oder keine Signale empfangen werden können.
Automatische Nummernschild-erkennung (ANPR)	ANPR ist eine Videoüberwachungsmethode mit Schrifterkennung. Die Nummernschilder werden fotografiert, gelesen und an ein Rechenzentrum gemeldet. Dort laufen die Informationen über zu begleichende Mautgebühr, Mautverstöße oder Mautbefreiung zusammen. Schwierigkeiten bestehen bei glänzenden oder reflektierenden Nummernschildern.
Dedicated Short Range Communications (DSRC)	DSRC ist eine Kommunikationstechnologie auf Basis von Kurzwellen. DSRC wird hauptsächlich bei der Ein- und Ausfahrt von Mautstellen oder zur Datenübertragung mit am Straßenrand installierten Antennen verwendet. DSRC ist einfach zu installieren und kann für die Nahfeldkommunikation sowie für Kommunikationstechnologien mit weiteren Funkdistanzen eingesetzt werden. In Verbindung mit einer „smart card“ können mittels DSRC auch Rechnungen übertragen und beglichen werden.
Global System for Mobile Communications (GSM)	GSM ist eine funkbasierte Kommunikationstechnologie. Im Gegensatz zu DSRC wird keine zusätzliche Infrastruktur am Straßenrand benötigt, sodass immer häufiger auf GSM zur Übertragung von Strecken- und Rechnungsdaten gewechselt wird.
Chipkarte (auch „smart card“)	Chipkarten (auch „smart cards“) sind Karten in Kreditkartenformat. Sie dienen als Speicherort für Zahlungsinformationen in Mautsystemen sowie für fahrer- und fahrzeugspezifische Informationen. Chipkarten funktionieren in den meisten Fällen über die OBU, in die sie eingesteckt werden.

Technologie	Beschreibung
Unterstützende IT	Zu den unterstützenden Informationstechnologien (IT) gehören Internet, Datenbanksysteme, Online Banking und weitere im Hintergrund laufende Systeme. IT wird als Grundgerüst für das Funktionieren von elektronischen Mautsystemen benötigt.

Laut Nowacki u. a. (2010) basieren elektronische Mautsysteme in Europa auf DSRC oder GPS und GSM. In beiden Fällen wird eine „On-Board Unit“ (OBU) in die Fahrerkabine eingebaut bzw. von innen an die Windschutzscheibe montiert, damit das Mautsystem automatisch mit den am Straßenrand installierten „Mautportalen“ oder dem Mautsystem kommunizieren kann. Damit aber Speditionsunternehmen nicht für jedes Land, in dem es elektronische Mautsysteme gibt, eine spezielle OBU benötigen, hat das europäische Parlament und der Rat der europäischen Union am 24. April 2004 beschlossen, dass ab dem 01. Januar 2007 alle elektronischen Mautsysteme im europäischen Raum aus einer oder mehreren der folgenden Komponenten bestehen muss: Satellitenortung, mobile Datenübertragung auf Basis von GSM- und GPRS-Standards sowie auf der Mikrowellenfrequenz von 5,8 GHz (vgl. Das europäische Parlament und der Rat der europäischen Union 2004).

4.3.2 Überblick zu den Forschungsarbeiten im Bereich der Mautsysteme

Shield und Blythe (1997) gaben einen Überblick über die Anwendungsbereiche von „smart cards“ in der Transportbranche. Sie stellten fest, dass die meisten Anwendungsbereiche mittels „smart cards“ im Bereich des Nahkontakts oder kontaktlosen Zahlens lag. Für den öffentlichen Verkehr im Bezahlen von Fahrkarten in Bus, Bahn oder Schiff und im Wirtschaftssektor im Bereich der Zugriffssicherung, automatische Gebührenerhebung und Preisermittlung für die Nutzung gewisser Dienstleistungen. Ihre Schlussfolgerung fällt positiv bezüglich der Nützlichkeit und Notwendigkeit einer kontaktlosen Zahlungsmethode aus und sie konstatieren ebenso die Notwendigkeit weiterer Bemühungen im Bereich der Standardisierung im grenzüberschreitenden Anwendungsfall.

Kim und Kang (2004) analysierten elektronische Mauterhebung in Korea und beschrieben das HI-Pass Projekt. Die bargeldlose Mauterhebung im HI-Pass funktioniert mittels DSRC. Auch hier werden „smart cards“ über eine OBU zur Begleichung einer Mautgebühr eingesetzt. Durch HI-Pass konnte die Effizienz an den Mautstellen verbessert werden. Im Gegensatz zu den Fahrbahnen, an denen noch mechanisch die Mautgebühr entrichtet werden konnte, konnte die Zeitdauer an den automatischen Mauterhebungsstellen um bis zu 60% reduziert und somit die Anzahl der durchgeschleusten Fahrzeuge um bis zu 200% erhöht werden. Darüber hinaus konnten durch die Verkehrsverflüssigung an den Mautstellen negative Umwelteinflüsse durch Schadstoffabgase reduziert und kürzere Fahrzeiten erreicht werden.

Tsugawa (2009) beschrieb die Effekte, die ITS auf die globale Erwärmung haben kann. Vor der Einführung von elektronischen Mautstellen konnten 30% des gesamten Staus in Japan bei manuellen Mautstationen detektiert werden. Nachdem 2001 erste automatische Maut-

systeme implementiert wurden, konnte 2009 eine Nutzerakzeptanz seitens der Verkehrsteilnehmer bis zu 77% erreicht werden. Neben der Verkehrsverflüssigung konnte dadurch auch eine signifikante CO₂-Abgasreduzierung erreicht werden.

Nowacki u. a. (2010) präsentieren das polnische elektronische Mauterhebungssystem. Aufbauend auf der Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004, die eine Standardisierung in Europa installierter elektronischer Mautsysteme vorsieht (vgl. Das europäische Parlament und der Rat der europäischen Union 2004: 52), wurde das polnische Mautsystem konfiguriert. Sie stellen ebenso heraus, dass Technologiebestandteile des elektronischen Mautsystems in Abhängigkeit der mit Nutzungskosten zu belegenden Straßenlänge ausgewählt werden müssen. Demnach würden GPS-basierte Mautsysteme ab einer Straßenlänge von 1.000 km und einer vorausgesetzten Nutzerdichte von 300.000 OBU's günstiger werden als die Alternative der Nahfeldkommunikation mittels DSRC.

Holguín-Veras und Wang (2011) untersuchten die Gründe für oder gegen die Investition in elektronische Mauterhebungssysteme. Eine Umfrage unter 507 Transportunternehmen zeigte auf, dass 69% der Fahrer, die über Brücken der Hafenadministration von New York und New Jersey fuhren, bereits Teilnehmer der elektronischen Gebührenerhebung waren. Trotz zahlreicher Ermäßigungen und Zeitersparnisse nutzten 31% der Brückennutzer nicht die schnellere und günstigere Methode der Mautzahlung. Die weitere Auswertung der Umfrageergebnisse zeigte, dass der größte Grund für das Nicht-Nutzen elektronischer Gebührenerhebung in der mangelnden Informationslage seitens der Transportunternehmen lag. Der größte positive Aspekt lag in der Zeitersparnis an den Mautstellen, da diese nun einfach passiert werden konnten. Sie schlussfolgerten damit, dass Werbung und Kampagnen zur Nutzung elektronischer Gebührenerhebung vor allem dann die Transportunternehmen erreichen würden, wenn verstärkt auf die Zeitersparnis hingewiesen wird.

Iseki und Demisch (2012) beschäftigten sich mit Mautsystemen und der Beziehung zwischen Technologien zur Mauterhebung und den Zielen, die dabei verfolgt werden. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass hauptsächlich zwei politische Entscheidungsmerkmale die Konfiguration der Mautsysteme beeinflussen. Zum einen ist es die Größe bzw. Länge des gebührenpflichtigen Straßennetzes und zum anderen die Komplexität bei der Ausgestaltung der Mautgebühr. Zu den untergeordneten Einflussfaktoren, die das Mautsystem beeinflussen, stellen Iseki und Demisch (2012) vier weitere Faktoren zusammen. Zum einen erwähnen sie die Installationsdauer. Je geringer die Systemspezifikationen ausfallen, desto schneller kann ein System in Betrieb genommen werden. Einen weiteren Faktor stellt die Erweiterbarkeit des Systems dar. In Abhängigkeit zukünftiger Erweiterungen ist ein besonderes Augenmerk auf die einzusetzenden Technologien zu legen. Der dritte Faktor beschreibt die angemessene Kommunikation mit den Verkehrsteilnehmern vor dem Hintergrund der Preisgestaltung. Insbesondere wenn sich die Maut nach Tageszeit, Verkehrsdichte und anderen variablen Faktoren richtet, ist die Kommunikation dieser Preisgestaltung wichtig. Zu guter Letzt nennen sie die Privatsphäre und den Datenschutz, die bei der Ausgestaltung des Mautsystems eine immer präzisere Position einnehmen. Sie fassen zusammen, dass die Herausforderung zur Entwicklung eines erfolgreichen Mautsystems nur durch das optimale Zusammenspiel zwischen

zweckmäßiger Verwendung von Technologie und Berücksichtigung der zu erreichenden Mautziele gemeistert werden kann.

King u. a. (2014) untersuchten die Containerlogistik am Hafen von New York und New Jersey. Sie analysierten mittels Fragebogen die Beziehung zwischen Mautgebühren und Güteraufkommen, Anzahl an Fahrten und Länge der Fahrstrecke. Sie stellen fest, dass kleinere Speditionsunternehmen den Großteil der Mauteinnahmen an dem untersuchten Containerhafen generieren, und somit eine finanzielle Ungleichverteilung und -belastung besteht. Dieses Ungleichgewicht sorgt dafür, dass andere, nicht optimale Routen gewählt werden, um dieser finanziellen Überbelastung auszuweichen. Sie konstatieren, die politische Regelung einer Mautgebühr auch unter diesem Aspekt zu beurteilen.

4.3.3 Darstellung der drei telematischen Mautsysteme aus Deutschland, Österreich und der Schweiz

Es folgt nun die Darstellung von drei telematischen Mautsystemen am Beispiel des deutschen („Toll-Collect“), österreichischen („ASFiNAG“) und schweizerischen (leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA)) Lkw-Mautsystems. **Tabelle 4.4** gibt zusammenfassend die wichtigsten Merkmale der drei Mautsysteme wieder. Es geht bei allen drei Mautsystemen um die Generierung einer zusätzlichen Einnahmequelle, eine faire Kostenverteilung nach dem Verursacherprinzip, sowie die Erhebung einer emissionsabhängigen Umweltgebühr in Abhängigkeit der Schadstoff- und Fahrzeugklasse.

Tabelle 4.4 Mautsysteme und eingesetzte Technologien

Mautprogramm	Toll-Collect (Deutschland)	GO Maut (Österreich)	LSVA (Schweiz)
Geographische Reichweite	Landesweit (BAB, Bundesstraße)	Landesweit (Auto- bahn, Schnellstraße)	Landesweit (auf allen Straßen)
Gebührenpflicht (ab Tonnen)	7,5	3,5	3,5
On-Board Unit	ja	ja	ja
GNSS Empfänger	ja	--	ja
GIS	ja	--	--
Elektronisches Hodometer	--	--	ja*
ANPR	ja, zu Kontroll- zwecken	ja, zu Kontroll- zwecken	--
DSRC	ja	ja	ja
GSM	ja	--	--
Chipkarte	--	--	ja

*Beim Einbau der OBU wird ein Anschluss zum Tachograph des Fahrzeugs erstellt

Toll-Collect

In Deutschland findet die Mauterhebung mittels elektronischer Mauterhebungssysteme seit dem 01. Januar 2015 statt. Vom deutschen Verkehrsministerium wurde Toll Collect zum Sys-

temaufbau, -betrieb und -abrechnung beauftragt. Mit dem Mautsystem wird das Ziel verfolgt, eine zusätzliche Einnahmequelle zur Sanierung und Bereitstellung einer leistungsstarken Straßeninfrastruktur zu gewährleisten. Die wachsenden europäischen Wirtschaftsbeziehungen führten zu einem erhöhten Transportaufkommen auf deutschen Straßen. Durch die Einführung der Maut im Transitverkehr wurde eine stärkere Kostenbeteiligung an den Instandhaltungskosten verfolgt. Ebenso wurde eine ökologische Perspektive bei der Ziel- und Umsetzung des Mautsystems verfolgt, indem eine emissionsabhängige Mautgebühr implementiert wurde. Bis zum 30. September 2015 wurden alle Lkw detektiert, deren zulässiges Gesamtgewicht mehr als 12 Tonnen betrug. Das stellte eine Besonderheit dar, da in allen europäischen Ländern nach der Eurovignetten-Richtlinie ab 2012 für alle Lastkraftwagen ab 3,5 Tonnen eine Mautpflicht gilt (vgl. Das europäische Parlament und der Rat der europäischen Union 1999, 2006). Diese Ausnahme wurde für Deutschland erwirkt, da die Systemkosten zur Bemautung von Kleintransportern unverhältnismäßig hoch sind. Seit dem 01. Oktober 2015 gilt die Lkw-Maut bereits bei Fahrzeugen ab 7,5 Tonnen.

Die elektronische Mauterhebung bei Toll-Collect arbeitet mit einer in der Fahrerkabine eingebauten OBU. Darin enthalten sind Module für GNSS, GSM, DSRC und GIS. Die zu begleichende Mautgebühr wird mithilfe der von der OBU übermittelten Positionsdaten an Toll-Collect berechnet. Zur Berechnung der Mautgebühr werden die Achsanzahl und die Emissionsklasse des Fahrzeugs, sowie die gefahrene Strecke berücksichtigt. Stichprobenartig werden durch den Abgleich der Betreiberdatenbank mit den per Datenkommunikation übertragenen Fahrzeugdaten Kontrollen durchgeführt (vgl. Toll-Collect 2015a).

GO Maut

Seit 2004 werden in Österreich Kraftfahrzeuge ab einem zulässigen Gesamtgewicht von 3,5 Tonnen bemautet. Geografisch gesehen liegen in Österreich zwei Besonderheiten vor. Zum einen befindet sich Österreich annähernd im Zentrum Europas, was Österreich zu einem Transitland macht, und zum anderen liegt Österreich zum Großteil in den Alpen. Diese geografische Besonderheit erfordert den Bau vieler Brücken und Tunnel. Das Ziel hinter der GO-Maut in Österreich war die stärkere Beteiligung des ausländischen Güterverkehrs an den Instandhaltungskosten der Straßeninfrastruktur. Die in der Fahrerkabine eingebaute OBU („GO-Box“) kommuniziert mittels DSRC mit den Mautbrücken entlang der gebührenpflichtigen Autobahnen und Schnellstraßen. Ähnlich wie bei dem deutschen System werden die Mautkosten in Abhängigkeit zu der Achsanzahl, der Emissionsklasse und der zurückgelegten Strecke berechnet. Der Fahrer hat zwei Möglichkeiten zur Begleichung der Mautgebühr. Zum einen ist es möglich über das Aufladen der GO-Box mit einem Geldbetrag die Mautgebühr während der Fahrt zu entrichten. Zum anderen besteht die Möglichkeit, die Maut über eine Sammelrechnung am Ende eines Zeitraumes zu begleichen. Regelmäßige Kontrollen erfolgen an Verkehrskontrollplätzen, im fließenden Verkehr durch ANPR an fest installierten Kontrollbrücken durch den Abgleich der in der Betreiberdatenbank hinterlegten Fahrzeuginformationen, sowie auf Parkplätzen (vgl. ASFiNAG, 2015).

Im Gegensatz zum deutschen Mautsystem, in dem durch eine Umprogrammierung der GNSS-Daten das mautpflichtige Straßennetz erweitert werden kann, ist eine Erweiterung des gebührenpflichtigen Straßennetzes in Österreich nur durch den Bau zusätzlicher Mautbrücken möglich. Allerdings stellt die Umsetzung eines elektronischen Mautsystems mittels DSRC eine stabile Lösung dar (vgl. Iseki und Demisch, 2012).

Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe

Seit 2001 gilt in der Schweiz die leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA). Diese betrifft Fahrzeuge ab einem zulässigen Gesamtgewicht von 3,5 Tonnen. Im Gegensatz zum deutschen oder österreichischen Gültigkeitsbereich, greift die LSVA auf allen Straßen über die gesamte Schweiz und für jeden gefahrenen Kilometer.

In Abhängigkeit des zulässigen Gesamtgewichts, der Emissionsklasse und der gefahrenen Kilometer wird die LSVA berechnet. Für alle inländischen Fahrzeuge wird eine OBU verpflichtend in der Fahrerkabine installiert. Diese ist mit dem Tachographen des Fahrzeugs verbunden und berechnet die gefahrenen Tonnenkilometer. Die OBU schaltet beim Überfahren von Landesgrenzen automatisch von Kilometererfassung zu Streckenerfassung. Das geschieht durch die Kommunikation zwischen der OBU und den an den Landesgrenzen installierten Signalantennen. Zur Kontrolle des Fahrtenschreibers und der Statusmeldungen zu Ein- und Ausfahrten über Landesgrenzen ist in der OBU ein GPS-Modul verbaut. Für die Kontrolle der angegebenen und in der OBU gespeicherten fahrzeugspezifischen Daten werden an 25 fixen Kontrollanlagen die elektronischen über DSRC empfangenen Daten mit den erfassten Daten verglichen. Darüber hinaus werden mobile Kontrollfahrzeuge eingesetzt (vgl. Eidgenössische Zollverwaltung, 2013).

4.4 Forschung im Bereich fortgeschrittener Fahrerassistenzsysteme

4.4.1 Allgemeine Vorstellung fortgeschrittener Fahrerassistenzsysteme

Was fortgeschrittene Fahrerassistenzsysteme (ADAS) von konventionellen Fahrerassistenzsystemen unterscheidet, wurde in **Kapitel 3.4** bereits erörtert. Deshalb wird nun ein detaillierterer Blick auf mögliche zu generierende Daten geworfen. In Abhängigkeit der Telematikanwendung kann eine Datenfusion unterschiedlicher Quellen (Sensor-, Verkehrsdaten) erfolgen. Ebenso können die generierten Daten an eine externe Stelle für weiterführende Informationen oder Steueranweisungen gesendet werden. Dazu zählen Stauwarnungen, Parkplatzverfügbarkeiten bzw. Routenänderungen oder Durchfahrtsverbote.

Für die unterschiedlichen Systeme, die innerhalb eines Fahrzeugs für die Operabilität und Sicherheit sorgen, stehen eine Reihe an unterschiedlichen Sensoren zur Verfügung. Darunter zählen Fahrdynamik-, Ultraschall-, Radar-, Lidar-, 3D- und Bildsensoren. Zur Abbildung externer Gegebenheiten, können Sensoren in unterschiedlichem Wirkzusammenhang stehen. **Tabelle 4.5** gibt eine Übersicht über mögliche Informationen, die mittels Sensoren in einem Sattelschlepper und Trailer erhoben werden können.

Tabelle 4.5 Fahrzeug- und anhängerspezifische Informationen, die von einem Sattelzug und einem Sattelaufleger für ITS-Anwendungen bezogen werden können (sortiert nach alphabetischer Reihenfolge)

Sattelzug	Sattelaufleger
<ul style="list-style-type: none"> • Achslasten • Aktuelle Position • Benutzung des Tempomaten • Betriebsstunden des Nebenantriebs (bspw. Ladekran) • Bremspedalzustand (gedrückt ja/nein) • Daten des digitalen Tachographen • Drehzahl des Motors • Fahrermimik • Fahrverhalten des Fahrers • Fahrzeuggeschwindigkeit • Füllstand des Tanks • Gesamtverbrauch (in l seit Auslieferung) • Kilometer bis zur nächsten Wartung • Kilometerstand • Kühlwassertemperatur • Kupplungszustand (gedrückt ja/nein) • Reifenluftdruck, -temperatur, -profiltiefe • Stellung des Gaspedals • Tankdeckelsicherung • Tankfüllstand • Tankfüllstand des Nebenantriebs • Temperatur der Bremsen 	<ul style="list-style-type: none"> • Aktuelle Position • Betriebsstunden des Nebenantriebs (bspw. Kühlaggregat) • Bremsentemperatur • Kilometer bis zur nächsten Wartung • Kilometerstand • Kopplungsstatus • Ladeflächennutzung • Laderaumtemperatur • Ladungsgewicht • Ladungsinformationen • Reifenluftdruck, -temperatur, -profiltiefe • Schwerpunkt des Sattelauflegers zur Bestimmung des Kippunktes • Status der Laderaumtür • Status der Plane • Tankfüllstand des Nebenantriebs • Zustand des Nebenantriebs

Die besonderen Merkmale von Nutzfahrzeugen wie das Gewicht, die Größe oder Länge führen auch zu einem erhöhten Gefährdungspotential. Wenn ein 40t schwerer Lkw die Kontrolle verliert oder aufgrund von Unachtsamkeit ins Stauende fährt, hat dies erheblich größere Auswirkungen, als wenn ein Pkw den gleichen Unfall verursachen würde. Sicherheitsfördernde ADAS haben somit für Nutzfahrzeuge einen höheren Stellenwert. Zusätzlich müssen wegen der Lkw-Ausmaße Restriktionen über Verkehrszeichen beachtet werden. Besonders bei Brücken kommt es häufig zu Unfällen und Brückenschäden, da der Fahrer das Gewicht oder die Höhe seines Fahrzeugs unterschätzt. Ein weiterer Faktor ist das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer. Pkw-Fahrer überschätzen die Motorisierung ihrer Fahrzeuge und ihre eigene Fahrleistung, was ebenfalls von Lkw-Fahrern berücksichtigt wird. Ein weiteres besonderes Merkmal, das den Lkw von einem Pkw unterscheidet, ist der eingeschränkte Sichtbereich. Deshalb benötigt der Lkw-Fahrer zusätzliche Hilfsassistenten, die sowohl den schwer einsehbaren Bereich vor der Fahrerkabine als auch die Bereiche im „toten Winkel“ überbli-

cken (vgl. Dörner u. a. 2012). ADAS können somit dem Fahrer dabei helfen, sein Fahrzeug zu führen, aber auch den Kontakt zu anderen Verkehrsteilnehmern und zur Straßeninfrastruktur aufzubauen.

4.4.2 Überblick zu den Forschungsarbeiten im Bereich der fortgeschrittenen Fahrerassistenzsysteme

In diesem Unterabschnitt wird in Anbetracht der Forschungstrends verstärkt auf den Bereich des Kolonnenfahrens eingegangen. Die Möglichkeit durch das dichte Hintereinanderfahren von mehreren Lkw Kraftstoff einzusparen, scheint zurzeit das Vorhängeschild von ADAS zu sein. Systeme, die diese Art des kooperierenden Fahrens ermöglichen, werden in der Literatur „*cooperative adaptive cruise control*“ (CACC)-Systeme genannt. Das Sicherstellen einer Kolonnenstabilität hat dabei oberste Priorität. Diese hängt unter anderem von der Bremskraft jedes einzelnen Kolonnenmitglieds, der Übertragungsgeschwindigkeit, der Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation und der Dauer, die zur Verarbeitung von internen und externen Informationen benötigt wird, ab. Auf den rollenden Lkw wirken während der Fahrt drei Widerstände: Die in Abhängigkeit der Straßenneigung positive oder negative Gravitationskraft, der Rollwiderstand zwischen Reifen und Straßenbelag, sowie der Luftwiderstand. Die Topographie kann nur durch die Straßenbauplanung berücksichtigt werden und ist dementsprechend ein unveränderlicher Tatbestand. Der Rollwiderstand kann durch optimalen Reifendruck stark verbessert werden und ist bereits durch Reifendrucksensoren Gegenstand von Fahrerassistenzsystemen. Die dritte Möglichkeit den Kraftstoffverbrauch zu reduzieren liegt in der Reduktion des Luftwiderstands. Das wird durch das Fahren im Windschatten eines vorausfahrenden gleichhohen Fahrzeugs möglich. Die Idee der Kolonnenfahrt reicht bis in die 1930er Jahre zurück (vgl. Besselink u. a. 2016) und ist aufgrund von Sensornetzwerken, Satellitennavigation und moderner IKT ein Forschungsfeld mit hoher Relevanz für die Reduzierung von umweltschädlichen Emissionen. Eine Kolonne besteht aus mindestens zwei Fahrzeugen. Levine und Athans (1966) stellten Mitte der 1960er Jahre erste theoretische Überlegungen zur Geschwindigkeits- und Positionskontrolle von schnell hintereinanderfahrenden Fahrzeugen auf.

Zambou u. a. (2003) entwarfen eine Regelkreisstruktur, die eine optimale Fahrweise für alle Fahrzeuge innerhalb einer Kolonne zum Ziel hatte. Mittels Motorendrehmoment wird diese kraftstoffsparende Fahrweise mit geringem Abstand der Fahrzeuge zueinander ermöglicht. Für die Übertragung und Kommunikation der Zustandsdaten zwischen den einzelnen Konvoifahrern diskutierten sie drei V2V-Kommunikationstypen: Direkte Kommunikationsstruktur, busförmige Kommunikationsstruktur und direkte Kommunikationsstruktur mit „broadcasting“. Beim ersten Kommunikationstyp benötigt die Fahrzeugsteuerung nur die Zustandsdaten des Vorderfahrzeugs. In diesem Kommunikationstyp lag jedoch der Nachteil, dass die Kolonnenstabilität stark vom Konvoiführer abhängt und deshalb keine optimale Lösung darstellt. Beim zweiten Kommunikationstyp werden die Zustandsdaten aller Kolonnenteilnehmer untereinander übermittelt. Dadurch können noch kürzere Fahrabstände erreicht werden. Allerdings werden hohe Datenmengen zwischen den einzelnen Fahrzeugen verteilt und

versendet. Der dritte Kommunikationstyp ist um die „broadcasting“-Eigenschaft erweitert und sendet die Zustandsdaten des führenden Fahrzeugs an alle Kolonnenteilnehmer. Dadurch kann die Kolonnenstabilität trotz geringerer Datenmenge als bei dem zweiten Kommunikationstyp erhöht werden, da die Kolonnenstabilität maßgeblich nur vom führenden Fahrzeug abhängt. Simulationen zeigten eine erfolgreiche Abstandsregelung und eine konstante Kolonnenstabilität durch den dritten Kommunikationstyp mit dem vorgestellten Regelkreissystem.

Zu den fortgeschrittenen Fahrerassistenzsystemen gehören auch Systeme, die das Identifizieren von Länge, Größe und Gewicht eines Lkw während der Fahrt ermöglichen. Ähnlich wie bei der elektronischen Mauterhebung können dadurch unnötige Routenstopps reduziert werden, wodurch Kraftstoff eingespart und Emissionsreduzierungen erreicht werden können. Foth u. a. (2011) präsentieren eine Möglichkeit zur Reduzierung von CO₂-Emissionen durch die Wägung des Lkw-Gewichts während der Fahrt. Aufgrund des Kyoto-Protokolls zur Reduzierung der Treibhausgase ergab sich die Notwendigkeit Kanadas CO₂-Emissionen zu reduzieren. Das „Weigh-in-motion“-Verfahren ist eine Möglichkeit zur CO₂-Reduzierung, indem es unnötiges Anhalten verhindert. Über Datenkommunikation zwischen Prüfzentrale und Fahrzeug können während der Wägung weitere Fahrzeugdetails geprüft werden. Falls der Lkw sein zulässiges Höchstgewicht überschreitet, wird es über variable Anzeigetafeln aus dem Verkehr geleitet. Ist das Gewicht mit den Verkehrsregeln konform, so wird ein „Emissionsguthaben“ generiert. Zusätzlich zur Kraftstoffeinsparung, die aus dem „Nicht-Anhalten“ resultiert, kann dieses Emissionsguthaben vom Fuhrparkunternehmen verkauft werden. Eine Fallstudie mit 150.000 Lkw hat eine CO₂-Einsparung in Höhe von 228.000 Tonnen bewirkt.

Behere u. a. (2013) untersuchten kooperierende Fahrerassistenzsysteme auf ihre Systemarchitektur, benötigte Funktionen, Integrität und auch die verschiedenen Elemente innerhalb des Systems. Zu den kooperierenden Fahrsystemen zählen die Kooperation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur (V2I) oder Fahrzeug zu einem oder mehreren Fahrzeugen (V2V). Die Überlegungen führten zu einer Referenzarchitektur, die unter realen Umständen im kommerziellen Bereich für Lkw getestet wurde. Sie stellen fest, dass kooperatives Fahren im Kern ein Sicherheitsparadoxon darstellt, da die Kolonnensicherheit von anderen Faktoren und Fahrzeugen abhängt, aber dies gerade den Sicherheitsaspekt beim Kolonnenfahren darstellt. Sie führen des Weiteren eine Aufstellung an unterschiedlichen funktionellen Dienstleistungen an, die benötigt werden, damit Kolonnenfahrten für die Konvoiteilnehmer möglich werden:

- Positionsbestimmung des eigenen Fahrzeugs mittels GNSS
- Bildsensoren zur Erkennung fremder Fahrzeuge
- Funktion zur Uhrensynchronisierung (Datenübertragung erfolgt mittels Zeitstempel)
- Befolgung des gleichen Standards zur kabellosen Datenübertragung
- CACC-System
- Schnittstellenanbindung zwischen CACC-System und Fahrzeugsteuerung
- Mensch-Maschine-Schnittstelle zur Veranschaulichung ablaufender Prozesse

- Diagnose und Fehlerbehebungsverfahren

Alam u. a. (2014) untersuchten Fahrerassistenzsysteme zum Kolonnenfahren in Hinblick auf die Sicherheitsaspekte bei verschiedenen Kolonnenbildungsszenarien. Das System besteht aus einem Computer, einer kabellosen Kommunikationseinheit und einer elektronischen Kontrolleinheit, die nach jeder Zustandsdatenänderung diese Informationen mit dem Folgefahrzeug über das kabellose Kommunikationsnetzwerk teilt. Sie präsentieren weiterhin eine Menge an Zustandsdaten, die benötigt und unter den Kolonnenteilnehmern übertragen werden müssen, um die Kolonnenstabilität zu gewährleisten. Es wurden drei Szenarien mit dem entwickelten Modell simuliert und auf ihre Reaktionsfähigkeit überprüft. Im ersten Szenario wurde die Situation überprüft, in der die Geschwindigkeit des führenden und folgenden Fahrzeugs gleich ist. Im zweiten Szenario wurde geprüft, welche Auswirkungen eine höhere Geschwindigkeit des folgenden Fahrzeugs bei einer Kolonnenbildung hat. Im dritten Szenario wurde untersucht, welche Auswirkungen eine höhere Geschwindigkeit des führenden Fahrzeugs bei einer Kolonnenbildung hat.

In allen drei Szenarien wurde eine Vollbremsung vom führenden Fahrzeug vorgenommen. Auf Basis ihres entwickelten Systems, das auf Radarinformationen und kabelloser Kommunikation basiert, zeigen sie, dass ein minimaler relativer Abstand von 1,2 m bei gleicher Geschwindigkeit unter den Kolonnenteilnehmern eine kollisionsfreie und damit sichere Fahrt ermöglicht. Wäre die Bremsfähigkeit des Folgefahrzeugs höher als die des führenden Fahrzeugs, wäre sogar ein noch geringerer Abstand möglich. Daraus folgt, dass in Kolonnenfahrten Lkw mit höherer Bremsleistung in aufsteigender Reihenfolge positioniert werden sollten. Die Ergebnisse basieren auf den Experimenten mit zwei identischen Scania-Lkw. Alam u. a. (2014) verwiesen darauf, dass das Modell nicht auf Kolonnen mit unterschiedlich motorisierten Teilnehmern und mit mehr als zwei Fahrzeugen ausgelegt ist.

Hsu u. a. (2015) beschäftigten sich mit einer Referenzarchitektur für cloud-basierte emissionsreduzierende ITS. Die entwickelte Lösung umfasste benötigte Software und Hardware sowie mögliche Dienstleistungen der ITS-Lösung. Es werden dynamische und statische Daten über Telematikanwendungen und Kameras zur Verkehrssituation und zum Fahrverhalten an die „Cloud“ übertragen. Die Systemarchitektur besteht aus drei Bestandteilen. Auf Grundlage eines Datenbankmanagementsystems (erster Bestandteil) zur Speicherung der Datenflüsse aus allen angeschlossenen Telematikanwendungen wurde als zweiter Bestandteil ein Analyseprogramm zur Erkennung der Verkehrssituation und effizienten Routenführung entwickelt. Als dritter Bestandteil wurde ein System zur Analyse des Fahrverhaltens vorgeschlagen, dass auf Grundlage des digitalen Tachografen und weiterer Telematikanwendungen eine effizientere Fahrweise über einen in der Fahrerkabine verbauten Bildschirm empfiehlt.

Besselink u. a. (2016) präsentierten eine Systemarchitektur für ein cyber-physikalisches Transportsystem. Ihre Architektur besteht aus drei Ebenen: Flottenmanagement, Fahrzeugkooperation, Fahrzeug. **Abbildung 4.3** zeigt die Fahrzeug-Kontrollarchitektur für die unterste Ebene. Einkommende Signale über GPS-, Radar- und Vehicle-to-Vehicle-Communication(V2V)-Module werden über den CAN-Bus zusammengeführt und verarbeitet.

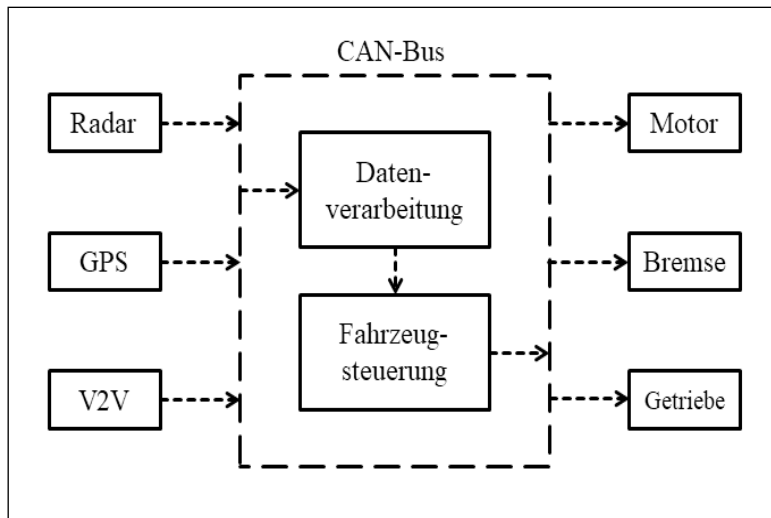


Abbildung 4.3 Kontrollarchitektur auf Fahrzeugebene (in Anlehnung an Besselink u. a. 2016)

Die V2V-Kommunikation findet über ein Sensornetzwerk statt. Daraus entstehende Steuerungsanweisungen werden dann über die Fahrzeugsteuerung an den Motor, die Bremse und das Getriebe weitergeleitet. Auf der mittleren Ebene befindet sich die Fahrzeugkooperation, dessen Ziel es ist, ein stabiles, sicheres und für alle Kolonnenteilnehmer mögliches Geschwindigkeitsprofil festzulegen. Es ist ebenso für die Zusammenführung zweier oder mehrerer Lkw zuständig. Diese Zusammenführung wird als Minimierungsproblem definiert. Minimiert wird der zusätzliche Kraftstoffverbrauch, der durch das Beschleunigen (um zur Kolonnengeschwindigkeit aufzufahren) oder benötigte Fahrmanöver (beispielsweise, wenn für eine Zusammenführung mehr Platz benötigt wird) entsteht. Dieser Vorgang wird auch opportunistische Kolonnenformung genannt, weil es ja nur zu einer Zusammenführung kommt, wenn die Kolonne einen geringeren Kraftstoffverbrauch insgesamt im Vergleich zu der Summe der individuellen Kraftstoffverbräuche hat, falls es zu keiner Kolonnenformung kommt.

Auf der obersten Ebene ist das Flottenmanagement. Diese Ebene ist zuständig für Transport-, Routen- und Koordinationsplanung. Für die Routenplanung aller Kolonnenteilnehmer wird bezogen auf ihr Ziel eine kraftstoffeffiziente Route gewählt. Hier werden sowohl die Faktoren Verkehrslage und Topographie, wie auch Lenk- und Ruhezeiten berücksichtigt. Koordinationsplanung bedeutet, dass die gefahrene Route kontinuierlich nach möglichen Kolonnenpartnern abgesucht wird. Wenn ein anderer Lkw auf der gleichen Strecke oder Teilstrecke identifiziert wird, findet ein opportunistischer Abgleich der Kraftstoffverbräuche statt. Ebenso wird diskutiert, ob eine Offenlegung der proprietären Fahrzeugeinsatzplanung eine zusätzliche Möglichkeit zur Kolonnenformung während der Fahrt bietet. Durch das Hochladen dieser Fahrzeugeinsatzplanung in ein System kann mit anderen Teilnehmern ein Fahrtenabgleich getätigt werden, sodass hier weitere Kooperations- und Koordinationsmöglichkeiten entstehen (vgl. Besselink u. a. 2016).

Liang u. a. (2016) behandelten neben einer Methode, mit der die Transporteffizienz durch Minimierung der Leerfahrten erreicht werden kann, auch eine kraftstoffeffiziente Formung

und Kontrolle von Lkw-Kolonnen. Vergleichbar mit dem „Drei-Ebenen-Modell“ in Besselink u. a. (2016) greifen Liang u. a. (2016) das „Drei-Ebenen-Modell“ von Turri u. a. (2014) auf. Der Unterschied besteht lediglich in der Tiefe der Abbildungsbeschreibungen. Im Gegensatz zu Besselink u. a. (2016) analysieren sie den Prozess der Kolonnenbildung unter drei unterschiedlichen Verkehrsdichten und legen dementsprechend einen höheren Wert auf die Verkehrssituation. Es wird zwischen wenig Verkehr (11 Fahrzeuge/km/Fahrspur), mittlerem Verkehr (15 Fahrzeuge/km/Fahrspur) und hohem Verkehr (19 Fahrzeuge/km/Fahrspur) unterschieden.

Die Simulation dieser unterschiedlichen Verkehrsstärken zeigte deutlich, dass der Zusammenführungspunkt bei der Formierung von Lkw-Kolonnen mit höherer Verkehrsdichte einen längeren Zeitraum und dementsprechend einen längeren Streckenabschnitt in Anspruch nahm. Ergebnisse aus einer 11 km langen Strecke zwischen Hallunda und Moraberg in Schweden zeigten ähnliche Werte. Die Testreihe zeigte auch deutliche Schwierigkeiten bei der Zusammenführung. Zwar konnten die Lkw in 186 Testversuchen 141 Mal erfolgreich in eine Kolonnenfahrt zusammengeführt werden, allerdings konnte keine Kolonnenbildung erreicht werden, wenn bereits ein Lkw hinter dem führenden Lkw ohne benötigtes Kolonnensystem fuhr. Ebenso konnte keine Zusammenführung erfolgen, wenn ein Pkw den langsam fahrenden führenden Lkw nicht überholen wollte.

Čičić u. a. (2017) untersuchten ebenfalls die Zusammenführung von Lkw zu einer Kolonne und betrachteten in diesem Spezialfall die prognostizierte Wegstrecke, die für die Zusammenführung in Abhängigkeit der topografischen Gegebenheiten und der prognostizierten Geschwindigkeiten der betrachteten Fahrzeuge benötigt wird. Sie führen weiter aus, dass obwohl sie bei der Simulation keine Verkehrsdichte berücksichtigen, ihre Ergebnisse dazu beitragen, die topografischen Verhältnisse besser einschätzen zu können und in anspruchsvolleren Modellen eingesetzt werden können.

4.5 Forschung im Bereich der City-Logistik

4.5.1 Allgemeine Vorstellung der City-Logistik

Zwei beispielhafte City-Logistik Konzepte wurden für Dresden (Sachsen) und Nienburg (Niedersachsen) konzipiert. In Dresden existiert und fährt seit November 2000 die „CarGo“-Tram. Dieser Straßenbahnzug ist 60m lang, hat ein Transportvolumen von drei Lkw und nutzt die innerörtlichen Straßenbahntrassen. Darüber hinaus ermöglicht dieser Zug intermodalen Gütertransport und verbindet das VW-Logistikzentrum (angesiedelt im Güterverkehrszentrum in Dresden) mit der „Gläsernen Manufaktur“, in der mittlerweile der neue E-Golf produziert wird (vgl. Vollmer 2017). In Nienburg entstand im Rahmen des KURS-Projekts ein Konzept eines umweltverträglichen regionalen Güterverkehrs. Dieses Konzept hatte zum Ziel, mit einem Lkw-Beschilderingssystem kombiniert mit einem rechnergestützten Lkw-Leitsystem energieaufwendiges Anfahren an roten Ampeln auf ein Minimum zu reduzieren. Als positiver Nebeneffekt sollte der Lkw-Schleichverkehr im innerstädtischen Bereich an At-

traktivität verlieren (vgl. Fachbereich Stadtentwicklung der Stadt Nienburg/Weser 2006, Koster 2013).⁷

Eine Initiative der Europäischen Kommission und ALICE (Alliance for Logistics Innovation through Collaboration in Europe) veranstaltete 2017 drei Workshops zum Thema Logistik und Güterverkehr vor dem Hintergrund einer nachhaltigen wirtschaftlichen Entwicklung und der von der europäischen Kommission festgelegten 60%igen CO₂-Reduzierung bis 2050. Neben der Reduzierung des „Carbon Foot Print“ im Güterverkehr als ersten Schlüsselbereich, der fortschreitenden Digitalisierung der „Sharing Economy“ als zweiten Themenbereich wurde City-Logistik als dritter Schlüsselbereich zur Erreichung der Ziele erkannt (vgl. Tassara und Consilvio 2017).

Die Haupteckensteine aus dem Workshop zum dritten Schlüsselbereich (City-Logistik) wurden von den Teilnehmern der Abschlusskonferenz aus Forschung und Industrie unterstützt und wurden wie folgt festgehalten:

1. Bei der Planung eines nachhaltigen städtischen Mobilitätskonzepts müssen Entscheidungsträger verstärkt auf Aspekte der City-Logistik Planung und Entwicklung achten.
2. Im Bereich der City-Logistik müssen mehr privat-öffentliche Kooperationen und Partnerschaften geschlossen werden.
3. Das Konzept der City-Logistik befindet sich zurzeit, vor allem aufgrund von E-Commerce und Fortbewegungstrends, im Wandel, sodass hier eine tiefergehende Erforschung der City-Logistik erfolgen muss, um Chancen und Möglichkeiten für die Gesellschaft und Umwelt zu erkennen und zu nutzen.

4.5.2 Überblick zu den Forschungsarbeiten im Bereich der City-Logistik

Zeimpekis und Giaglis (2006) erforschten die Erfolgsfaktoren beim Einsatz von Telematiksystemen aus Sicht von kleinen und mittelständischen Unternehmen in Griechenland. Ergebnisse der durchgeführten Umfragen und Interviews ermöglichten es, ein neuartiges Fahrzeugmanagementsystem zu erstellen, das Echtzeit-Daten und historische Verkehrsdaten zu Entscheidungshilfen verarbeitet und zur Reduzierung von Lieferrisiken beiträgt. Des Weiteren zeigten Umfrageergebnisse, dass kleine und mittlere Speditionsunternehmen einen hohen Dienstleistungswert in der Echtzeit-Angabe von Lieferbestätigungen und Routenänderungen sehen. Als größte Barriere für den Einsatz telematikbasierter Systeme wurden eine unklare Amortisationsrate und hohe Anschaffungskosten angegeben.

Russo und Comi (2010) untersuchten City-Logistik-Maßnahmen und erstellten eine Klassifizierung sowie eine empirische Analyse über die jeweiligen Effekte. Sie führten an, dass Maßnahmen bereits 1998 in dem „COST 321“-Projekt aufgeführt wurden und einen Maßnahmenkatalog bestehend aus 56 Maßnahmen darstellen (vgl. Europäische Kommission und Europäische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Wissenschaftlichen und Technischen For-

⁷ Im Anhang J kann eine Auflistung und kurze Beschreibung der verfolgten Ziele aller relevanten von den Rahmenforschungsprogrammen und der europäisch regionalen Entwicklungsförderung geförderten City-Logistik Projekte eingesehen werden.

schung 1998). Die europäische Kommission förderte aufbauend auf den Ergebnissen von „COST 321“ zwei weitere Projekte namens BESTUFS und der Weiterführung BESTUFS II, die letztendlich Handbücher für City-Logistikmaßnahmen und Best Practices aus verschiedenen Städten darstellten. Russo und Comi (2010) führen weiter aus, dass die Maßnahmen aus diesen Projekten hauptsächlich auf Lade- und Entladeprozessen, der „letzten Meile“ sowie Konsolidierungs- und Distributionszentren liegen. Sie analysieren weiterführend die Beziehungen zwischen den Entscheidungsträgern und denen, die von diesen Entscheidungen betroffen sind. Daraus leiten sie vier Kategorien für City-Logistikmaßnahmen ab, die sich nochmals in die drei Differenzierungsebenen „strategisch, taktisch und operativ“ aufgliedern:

1. Physische Infrastruktur (material infrastructure)
2. Technische Infrastruktur (immaterial infrastructure)
3. Transportmittel (equipment)
4. Politische Richtlinien (governance)

Die erste Kategorie umfasst Maßnahmen, die sich direkt auf die Infrastruktur und deren Erweiterung oder Reservierung beziehen. Beispiele für Erweiterungen sind Gleiserweiterungen oder Konsolidierungszentren. Unter technischer Infrastruktur werden Systeme zur effizienteren Routennavigation oder ITS im Allgemeinen verstanden. Maßnahmen aus der dritten Kategorie beziehen sich auf die Transportmittel. Konkret geht es hier um die Beschaffung der Ladungseinheiten oder die Art des Lkw (elektrisch, hybrid, auf Wasserstoffbasis etc.). An letzter Stelle fallen Maßnahmen aus Sicht der politischen Entscheidungsträger in die vierte Kategorie. Hier werden beispielhaft Umweltzonen, Fahrverbotszonen oder erlaubte Anlieferzeiten angeführt.

Ehmke und Mattfeld (2012) untersuchten die „Last-Mile delivery“ vor dem Hintergrund der optimalen Routenplanung mittels telematikbasierter Technologie. Es wurde ein Optimierungsmodell erstellt, das mithilfe von Floating-Car-Data und Methoden zur Datengewinnung zeitabhängige Routenplanung ermöglicht. Das Optimierungsmodell wurde in einer Fallstudie am Beispiel der Stadt Stuttgart getestet und zeigte verbesserte Lieferzeiten in Abhängigkeit der gewählten Zeitfenster. Daraus folgt, dass bestimmte Lieferzustellungen zu bestimmten Zeiten schneller und damit pünktlicher ankommen.

Lyons u. a. (2012) zeigten am Beispiel von Mexico City, dass City-Logistik-Maßnahmen unter Einbezug verschiedener Akteure betrachtet werden müssen. In Mexico City haben Fahrverbote für mittelschwere und schwere Lkw auf bestimmten Korridoren dazu geführt, dass die durchschnittliche Fahrzeit um bis zu 9% gestiegen ist, die Emissionsreduzierung allerdings nicht im Verhältnis zu dem Kostenanstieg durch die längere Fahrzeit stand. Sie konstatieren, dass die Planung für den Personenverkehr nicht unabhängig von der Planung für den Wirtschaftsverkehr geführt werden darf.

Swamy und Baindur (2014) kritisierten politische Entscheidungsträger in Hinblick auf City-Logistik-Maßnahmen in Ahmedabad (Indien). Diese würden aufgrund mangelnder quantitativer Güterverkehrsdaten keine Richtlinien zur Harmonisierung und allgemeinen Verbesse-

rung der innerstädtischen Verkehrssituation anstreben. In ihrer Arbeit diskutieren sie deshalb die Verwendung von Grundsteuerangaben, sowie Umfrageergebnisse an acht Eintrittsstellen für den Schwerlastverkehr. Anhand dieser Angaben charakterisieren sie die Güterverkehrsmuster entlang der Straßeninfrastruktur in Ahmedabad. Dieser Vorgang zur Analyse der Verkehrsflüsse kann auch in anderen Städten mit ähnlichem Mangel an quantitativen Daten verwendet werden.

Nuzzolo u. a. (2014) fügten der City-Logistik-Diskussion eine weitere Planungskomponente hinzu. Sie argumentieren, dass City-Logistik-Maßnahmen eher einseitig aus Sicht des Güterverkehrs diskutiert werden, der Endverbraucher allerdings einen ebenso großen Anteil an der Auslastung der Straßeninfrastruktur besitzt. Dementsprechend untersuchen sie verschiedene Flächennutzungsszenarien in Hinblick auf die Verteilung von Distributionszentren und Einzelhandelsgeschäften und argumentieren, dass eine effiziente Verteilung die Transportkosten für beide Akteursgruppen senken, sowie eine Reduzierung der schädlichen Abgase nach sich ziehen kann.

In der Arbeit von Walker und Manson (2014) ging es darum zu ergründen, inwieweit Telematiksysteme Fahrern dabei helfen, die effizientesten Routen vor dem Hintergrund verschiedenartiger innerörtlicher Straßeninfrastrukturen zu treffen. **Abbildung 4.4** zeigt die untersuchten Straßenmuster.

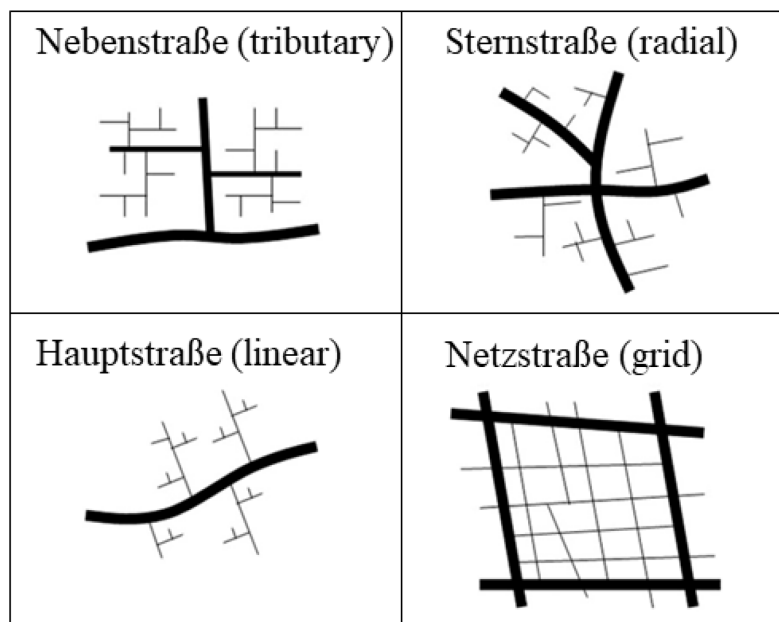


Abbildung 4.4 Straßenmuster (Walker und Manson 2014)

Die Ergebnisse zeigen auf, dass es eine Sättigungsgrenze für Telematikanwendungen für die City-Logistik gibt. Einige untersuchte Fälle zeigten, dass die Routennavigation mit und ohne Telematik zu gleichen Ergebnissen führte. Insgesamt konnte aber eine Abhängigkeit zwischen den Straßenmustern, der Transporteffizienz und der eingesetzten Telematikanwendungen gefunden werden. Walker und Manson (2014) führen weiter aus, dass sich ungefähr 30- 50% der Fahrer trotz Routenvorschlägen nicht danach richten und ihre eigenen

Entscheidungen aufgrund von Erfahrungswerten treffen. Letztendlich ist die Routennavigation vor dem Hintergrund verschiedener Straßenmuster und in Abhängigkeit der verfolgten Ziele (Streckenlänge, Streckendauer, Streckenkosten, CO₂ Ausstoß) zu betrachten.

Malecki u. a. (2014) untersuchten die Bedeutung von ITS auf die Reduzierung negativer Umwelteinflüsse urbanen Verkehrs am Beispiel einer polnischen Großstadt. Es wurde ein Verkehrsmanagementsystem ausgestaltet, das Verkehrsteilnehmern durch ein internetfähiges Endgerät Echtzeit-Informationen über den aktuellen und zukünftigen Stand der Verkehrsdichte, durchschnittliche Fahrdauern auf bestimmten Straßenabschnitten, sowie Wetterinformationen bereitstellte. Aufbauend auf diesen Informationen konnten die Verkehrsteilnehmer Ausweichrouten wählen, was zu einer Verkürzung der Reisezeit führte. Zur Detektion, Überwachung und Darstellung des Verkehrsstatus werden Bilderkennungssoftware zur Überwachung der Verkehrssituation, Laserdetektion zur Erkennung der Fahrbahnbeschaffenheit und variable Anzeigetafeln zur zusätzlichen Beeinflussung des Verkehrs verwendet.

Nathanail u. a. (2016) entwickelten ein Bewertungs- und Analysetool für City-Logistik-Maßnahmen auf Basis verschiedener Akteursgruppen und Bewertungskriterien. Sie nutzen den analytischen Hierarchieprozess (AHP) und stellen ihr neunstufiges Vorgehen vor. Die untersuchten Akteursgruppen sind Lieferempfänger, Gesellschaft, Logistikdienstleister, Versender und Infrastrukturanbieter. Die verwendeten Daten stammten aus dem STRAIGHTSOL-Projekt und wurden für das NOVELOG-Projekt zur Verbesserung des Evaluationstools weiterverarbeitet.

Papoutsis und Nathanail (2016) stellten in ihrer Arbeit einen Bezug zwischen den Einflussbereichen und den am meisten eingesetzten City-Logistik-Maßnahmen her. Sie zeigen dies anhand von 54 aufgezeichneten Maßnahmen aus zwölf Projektquellen und vier nicht Projektbezogenen Quellen. Die Einflussbereiche waren Kundenservice, Gesellschaft, Ökonomie und Ökologie. Den höchsten Effekt haben die Maßnahmen im ökologischen Einflussbereich. Das ist damit zu begründen, dass die Lebensbedingungen durch City-Logistik-Maßnahmen verbessert werden, was hauptsächlich durch die Reduzierung der CO₂-Abgase erzielt wird. Gesellschaftsbezogene Aspekte werden oftmals unter ökologischen Gesichtspunkten betrachtet. Maßnahmen, die Zufahrtsrestriktionen vorsehen, haben einen positiven Einfluss auf alle vier Bereiche. Kooperative Maßnahmen, die zur Zusammenarbeit auf Unternehmensebene führen, erzielen hohe Einflüsse sowohl im ökonomischen, ökologischen, als auch gesellschaftlichen Bereich, weil konsolidierte Ladungseinheiten weniger Fahrzeuge benötigen und einen höheren Lieferservice bedeuten. Sie führen weiter an, dass die Implementierung von ITS oder IKT einen hohen Einfluss auf den Kundenservice hat, da durch neuartige Transportabwicklung und transparentere Lieferketten (tracking & tracing) die Kundenzufriedenheit steigt.

Imanishi und Taniguchi (2016) untersuchten Ähnlichkeiten im Umgang mit City-Logistik-Maßnahmen und befragten dazu mehrere Städte mittels Fragebogen. Ergebnisse suggerieren, dass Großstädte eine kollaborative Arbeitsweise mit dem Güterverkehr betreiben. Eine typische Zusammenarbeit umfasst dabei Vertreter aus nationalen und regionalen Entschei-

dungsträgern, Unternehmen, privaten und öffentlichen Institutionen, sowie aus Beratung und Forschung. Das daraus gebildete Wissensnetzwerk spielt eine entscheidende Rolle in der Entwicklung von City-Logistik-Maßnahmen. Die befragten Städte hatten alle eine Art Schwerlastverkehrsführung, entweder in Form von priorisierter Ampelschaltung oder spezieller Wegweisung. Allen Städten konnte insofern ein gesonderter Umgang mit Güterverkehr attestiert werden, dass Lkw einen wesentlichen Bestandteil von Lieferketten ausmachen und deshalb möglichst ungehindert durch den Verkehr kommen, aber gleichzeitig die Infrastruktur geschützt und die Straßensicherheit gewährleistet bleibt. Alle Städte hatten zuvor irgendeine Form von ITS zur besseren Steuerung und Planung des urbanen Güterverkehrs implementiert.

Mangiaracina u. a. (2017) zeigten, auf welchen Einfluss Informationsgenauigkeit und Entscheidungsgeschwindigkeit in der heutigen Zeit auf die innerstädtische Verkehrssituation ausüben. Sie untersuchten, welche Bedeutung ITS in diesem Kontext besitzt, führten eine detaillierte Literaturrecherche durch und deckten Forschungslücken auf. Zu den Forschungslücken gehören ein detaillierter aktueller Forschungsstand zu ITS im Personen- sowie Güterverkehr im Kontext der City-Logistik (den sie allerdings mit dieser Arbeit abdecken) und quantitative Arbeiten zur konkreten Wertschöpfung beim Einsatz von ITS. Darüber hinaus kritisieren sie den Mangel an Modellen zur Betrachtung von Einflüssen auf die Bevölkerung und Wirtschaft beim Einsatz von ITS für die intelligente City-Logistik.

Nathanail u. a. (2017) untersuchten den Zusammenhang zwischen City-Logistik-Maßnahmen auf politischer Ebene und der Stadtgröße. Es wurden die Hauptstädte aller Präfekturen Griechenlands untersucht und in Abhängigkeit der Einwohnerzahl in zwei Gruppen unterteilt. Sie nutzten eine modifizierte Form des AHP, bewerteten City-Logistik-Maßnahmen in Abhängigkeit der Kriterien Ökonomie, Umwelt, Mobilität, Gesellschaft, Reife der politischen Entscheidung, Sozialverträglichkeit und Nutzerakzeptanz und leiteten daraus einen „nachfrageorientierten Logistiknachhaltigkeitsindex“ und einen „anbieterorientierten Logistiknachhaltigkeitsindex“ ab. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass City-Logistik-Maßnahmen in größeren Städten tendenziell eher akzeptiert und umgesetzt werden als in kleineren.

4.6 Zwischenfazit

ITS können aufbauend auf den Ergebnissen aus allen vier Kategorien erhebliche Kosteneinsparungen, CO₂-Reduzierungen, kürzere Fahrzeiten und weitere Vorteile bewirken. Untersuchungen zeigen Effizienzsteigerungen durch den Einsatz von Verkehrstelematik (vgl. Oskarski u. a. 2006 zitiert in Małeckı u. a. 2014):

- Erhöhung der Straßenkapazität um 20 bis 25%
- Reduzierung der Verkehrsunfälle um 40 bis 80%
- Reduzierung der Fahrtzeit um 45 bis 70%
- Reduzierung der schädlichen Umwelteinflüsse durch Abgase um 30 bis 50%
- Verbesserung der allgemeinen Reisequalität und –bedingungen
- Reduzierung der Logistikkosten

- Reduzierung der Reparatur- und Wartungskosten der Straßeninfrastruktur durch geringere Beanspruchung

Harris u. a. (2015) zufolge steht der Einsatz von ITS aber möglichen Barrieren gegenüber, die Unternehmen daran hindern intelligente Informations- und Kommunikationssysteme einzusetzen. Die Barrieren können auf der Nutzer- oder Technologieseite liegen oder sind auf mangelnde politische Richtlinien zurückzuführen. Auf der Nutzerseite können die Gründe in der Unternehmensgröße, der ökonomischen oder finanziellen Lage, bei operationsbedingten Prozessen oder Hindernissen auf der Managementebene liegen. Hindernisse auf der Technologieebene können in mangelnder Interoperabilität und Kompatibilität der Systeme, Beständigkeit und Konsistenz der Informationen oder in Schwierigkeiten der Standardisierung und Integration der neuen Technologie liegen. Auf der Ebene der politischen Richtlinien kann es an den nötigen Regulierungen und Bestimmungen zur Einheitlichkeit und Operabilität über Landes- oder Systemgrenzen hinweg mangeln.

Die hier vorgestellten vier ITS-Kategorien können nun zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage „**Was sind intelligente Transportsysteme für den Straßengüterverkehr?**“ herangezogen werden. Zu den Hauptaufgaben des Flottenmanagements gehören die Fahrzeugbeschaffung und -finanzierung, die Wartung und Reparatur, die Kostenkontrolle und -steuerung, sowie die Fahrzeugeinsatzplanung. Da letztere auch die Einhaltung von Lenk- und Ruhezeiten beinhaltet, wurde der Forschungsbereich der intelligenten Parksysteme für den Schwerlastverkehr thematisch zum telematischen Flottenmanagement hinzugefügt. Telematisches Flottenmanagement wurde bereits Mitte der 90er Jahre erforscht. Es wurde erkannt, dass der Erfolg solcher Systeme von der breiten Akzeptanz verschiedener Nutzergruppen abhängt (vgl. Nijkamp und Pepping, 1996). Ebenso zeigten Untersuchungen zum Kosten-Nutzen-Verhältnis von telematischen Systemen zum Einsatz im Flottenmanagement eine positive Investitionsempfehlung (vgl. Anderson u. a. 1996). Im Laufe der Zeit wurden weitere Untersuchungen zur CO₂-Effizienz telematischer Flottenmanagementsysteme mit positiver Abhängigkeit durchgeführt (vgl. Baumgartner u. a. 2008, Léonardi und Baumgartner 2004, Walnum und Simonsen 2015). Weitere Arbeiten thematisierten „intelligentes Reagieren“ auf Unvorhergesehenes, Entscheiden mittels Flottenmanagement im Allgemeinen (vgl. Hu und Sheng 2014, Kapsalis u. a. 2010, Zajicek und Schechtner 2005, Zeimpekis u. a. 2005) und außerdem grundsätzliche Ausrichtungen zukünftiger Entwicklungen im Flottenmanagement (vgl. Bielli u. a. 2011, Crainic u. a. 2009, Santa u. a. 2012). Aber auch intelligentes und kapazitätserweiterndes Parken ist aufgrund des Kompakt- und Kolonnenparkens und weiterer Parkmanagementsysteme möglich geworden (vgl. Dierke u. a. 2016, Faheem u. a. 2014, Kleine u. a. 2014). Untersuchungen zeigen bereits eine Parkraumerweiterung von mehr als 30% durch den Einsatz von Kolonnenparksystemen an großen TRA (vgl. Bäumler und Kotzab 2018).

Die zweite Kategorie betrifft elektronische Mauterhebungssysteme. Diese sind dank moderner, drahtloser Sprach- und Datenübertragung schneller und einfacher zu handhaben und auch günstiger geworden. Die Gründe für eine Maut liegen hauptsächlich in der Schaffung einer Einnahmequelle und der Steuerung des Verkehrs (vgl. Sorensen und Taylor 2005). Bei

der Konzeption eines elektronischen Mautsystems muss zwischen der grundsätzlichen Funktionsweise mittels GPS oder DSRC je nach Größe und Umfang des Systems entschieden werden (vgl. Nowacki u. a. 2010). Weitere technologische Bestandteile (OBU, GIS, ANPR, GSM, Chipkarte, IT) sind in Abhängigkeit der Mautziele und technischen, gesellschaftspolitischen und verkehrlichen Anforderungen zu wählen (vgl. Datow 1995, Iseki und Demisch 2012). Darüber hinaus haben das europäische Parlament und der Rat der europäischen Union am 24. April 2004 Standards für den Ländergrenzen übergreifenden Einsatz von elektronischen Mauterhebungssystemen beschlossen, sodass die in der Fahrerkabine verbauten OBUs auch mit ausländischen Mautsystemen kommunizieren können. Elektronische Mauterhebung hat laut Fallstudienberichten die Anzahl an durchgeschleusten Fahrzeugen drastisch erhöht und somit auch die Verweildauer und Staulänge an den Mautstellen reduziert (vgl. Kim und Kang 2004, Tsugawa 2009).

Der dritte Themenbereich sind die ADAS. Fahrerassistenzsysteme unterscheiden sich in „normale“ und „fortgeschrittene“ Fahrerassistenzsysteme. Demnach sind ADAS um die maschinelle Datenverarbeitungs- und Interpretationsleistung erweitert. Im Gegensatz zu normalen Fahrerassistenzsystemen empfangen, verwerten und interpretieren diese Daten, woraus Lenkungsmaßnahmen abgeleitet werden (vgl. Müller 2012). Ebendiese Lenkungsmaßnahmen können informationsbasiert oder lenkeingriffsberechtigt sein (vgl. Kala 2016). ADAS wirken auf der Stabilisierungs-, Bahnführungs- und Navigationsebene und sind dank international festgelegter Achsrichtungen systemübergreifend einsetzbar (vgl. Mörbe 2012). Mittlerweile ist eine profunde Basis an Sensoren vorhanden, welche die Umgebung scannen, verwerten und fortgeschrittene Fahrerassistenzsysteme mit Daten versorgen. Ein Einblick in die Forschungslandschaft für Telematiksysteme für den Straßengüterverkehr zeigte eine starke Gewichtung auf kooperativem Kolonnenfahren (CACC). Es wurden Regelkreissysteme zum Kolonnenfahren (vgl. Alam u. a. 2014, Zambou u. a. 2003), theoretische und praktische Versuche zum Kolonnenbildungsprozess (vgl. Besselink u. a. 2016, Čičić u. a. 2017, Liang u. a. 2016) sowie Überlegungen zu Rahmenarchitekturen und Technologiebestandteilen aufgezeigt (vgl. Behere u. a. 2013, Besselink u. a. 2016, Hsu u. a. 2015).

Der vierte Themenbereich behandelt die City-Logistik. Durch wirtschaftliche und gesellschaftliche Trends ist das urbane Leben seit den letzten Jahrzehnten immer dichter geworden. E-Commerce, Ride-Sharing, JiT-Anlieferungen aber auch Globalisierungseffekte sorgen für mehr Verkehr bei gleichbleibender Straßeninfrastruktur. Die Folgen sind Staus, Verspätungen und steigende Feinstaubwerte. Die Literatur scheint sich bei dem Begriff City-Logistik auf drei Punkte zu einigen (vgl. Bektaş u. a. 2017). Demnach bezieht sich City-Logistik auf den städtischen Güterverkehr, mit dem Ziel den Güterverkehr innerhalb einer Stadt zu konsolidieren und zu koordinieren und dabei die umweltschädlichen Einflüsse zu reduzieren, indem die City-Logistik-Prozesse effizienter gestaltet werden. Dass längere Staus und schlechtere Lebensbedingungen aufgrund von Feinstaubwerten kein regionales Problem darstellen, zeigen Bemühungen auf europäischer Ebene (vgl. **Anhang J**). Große Forschungsanstrengungen konnten im Bereich der möglichen Maßnahmen für City-Logistik-Projekte identifiziert werden. Daraus folgt, dass sich Maßnahmen auf der taktischen, strategischen

und operativen Ebene in den Bereichen physische und technische Infrastruktur, Transportmittel und politische Richtlinien befinden können (vgl. Russo und Comi 2010) und Einfluss auf die Bereiche Ökonomie, Ökologie, Gesellschaft und Kundenservice ausüben (vgl. Papoutsis und Nathanail 2016). Ebenso wurden viele Faktoren ermittelt, die den Güterverkehr innerorts beeinflussen. Dazu zählen die Straßennetzstruktur (vgl. Walker und Manson 2014), die Konsumentenlogistik (vgl. Nuzzolo u. a. 2014), Kooperationsneigung der unterschiedlichen Akteursgruppen (vgl. Imanishi und Taniguchi 2016) und die Einbindung dieser in die Entscheidungsfindung für City-Logistik Maßnahmen (vgl. Lyons u. a. 2012, Nathanail u. a. 2016, 2017).

Die möglichen Barrieren, das Zusammenspiel vieler Akteure, die unterschiedlichen Einsatzfelder intelligenter Transportsysteme und die Vielfalt an Technologien deuten auf eine dynamische und komplexe Entwicklung hin. Werden die derzeitigen Forschungsbemühungen in diesem Bereich analysiert, so fällt auf, dass sich die methodische Ausrichtung in nicht ausreichender Art und Weise mit der Zukunft beschäftigt (s. Anhang B). Zu wissen oder zu ahnen, welche Technologien verwendet werden oder wie sich die Güterverkehrsstruktur verändern oder anpassen wird, gibt Unternehmen, politischen Entscheidungsträgern und allen am Transportprozess beteiligten Nutzergruppen nicht nur eine Orientierungshilfe, sondern auch ein Werkzeug zur frühzeitigen Anpassung. Infolgedessen wird ein Blick in die Zukunft gewagt.

Im folgenden **fünften Kapitel** wird methodisch aufbereitet, was Zukunftsforschung bedeutet, aus welchen Bestandteilen sie besteht und welche Methoden und Möglichkeiten für eine zukunftsgerichtete Analyse vorhanden sind.

5 Methoden der Zukunftsforschung

5.1 Exkurs: Entstehung der Futurologie

5.1.1 Was ist die Futurologie?

Im Jahre 1945 erschien Flechtheims Aufsatz mit dem Titel „Teaching the future!“ und zeigte einen vernetzenden und disziplin-übergreifenden Ansatz zur Zukunftsforschung. Dieser Aufsatz gilt heutzutage als Beginn der Futurologie, der Wissenschaft von der Zukunft (vgl. Gausemeier u. a. 1995, Goll und Scheffler 2003). Der Begriff Futurologie steht für die systematische und kritische Behandlung von Zukunftsfragen (vgl. Flechtheim 1980) und wird in die drei Teilgebiete Zukunftsforschung (z. B. Prognosen, Projektionen), Zukunftsphilosophie (z. B. Visionen, Utopien) und Zukunftsgestaltung (z. B. Programmierungen, Planungen) unterteilt. Die Ausgangsfrage jedes Teilbereichs gibt Aufschluss über die verwendete Methodik und Vorgehensweise (s. **Abbildung 5.1**).



Abbildung 5.1 Teilgebiete der Futurologie

Die Zukunftsforschung ist darum bemüht, zukünftige Ereignisse im Einklang mit wissenschaftlichen Prämissen „vorherzusagen“ – und das möglichst nach einem Kausalzusammenhang. Demnach geht es um die Frage „Wie *wird* die Zukunft aussehen?“.

Im Rahmen der Zukunftsphilosophie hingegen geht es um die Frage „Wie *sollte* die Zukunft aussehen?“. Hier sind die Disziplinen Soziologie und die Philosophie stark vertreten. Das Ergebnis dieses Teilbereichs sind Visionen, Utopien oder Ideologien. Letztendlich führen beide Teilbereiche zur Frage „Wie wird die gewollte Zukunft erreicht?“ – also nach der Vorgehens-

weise zur Erreichung der gewünschten Zukunftsbilder. In der Futurologie entspricht dieser Teilbereich der Zukunftsgestaltung und ist durch planerische zukunftsorientierte Aktivitäten charakterisiert (vgl. Gausemeier u. a. 1995).

5.1.2 Was bedeutet Zukunftsforschung?

Nach Canzler (1991) hat eine Analyse zum Thema Zukunftsforschung ergeben, dass eine Definition von Zukunftsforschung folgende Aspekte aufweist:

- Langfristorientierung
- Vernetzung und Kooperation einzelner Zukunftsforscher
- Verknüpfung verschiedener Disziplinen
- Notwendigkeit und Offenlegung verpflichtender normativer Dimensionen

Wissenschaftliche Aussagen beziehen sich immer auf einen Zusammenhang veränderlicher Variablen. Diese Variablen oder auch Phänomene können unterschiedlich sein, in ihrem Vorkommen variieren und eine bestimmte Erklärungsebene bedienen. Unter Erklärungsebenen ist zu verstehen, dass Wirkzusammenhänge auf ökologischer, sozialpsychologischer, ökonomischer und weiteren Ebenen erklärt werden können. Auf Grundlage des Zusammenhangs können Aussagen über vergangene als auch über zukünftige Vorgänge getroffen werden. Wissenschaftliche Aussagen können darüber hinaus deterministisch oder stochastisch sein. Sie können eine „wenn-dann“-Beziehung darstellen oder eine „wenn-dann mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit“-Beziehung repräsentieren. Dementsprechend versucht die Wissenschaft, möglichst deterministische Aussagen zu treffen, da solche Aussagen sichere und eindeutige Voraussagen ermöglichen (vgl. Gehmacher 1971). Schmölders geht einen Schritt weiter und behauptet, dass die Prognose, vorausgesetzt es gibt einen Kausalzusammenhang zwischen einer Ursache und einer Wirkung, dazu da sei, um natur- und sozialwissenschaftliche Erkenntnisse zu prüfen (vgl. Schmölders 1963).

Bauer (1968) gibt in seinem Werk „Philosophie und Prognostik“ einen definitorischen Rahmen für Prognosen. Demnach sind Prognosen in letzter Logik wahre oder falsche entscheidungsvorbereitende Aussagen. Sie versuchen, die zukünftige Situation zu erkunden und verständlicher zu gestalten, indem sie darüber aufklären. Daraus können sich Ziele- und Mittelplanungen ergeben. Prognosen sind im Gegensatz zu Plänen keine Direktiven. Einzig die Notwendigkeit zur Einbindung einer Prognose in die Planung lässt die Aussagen innerhalb einer Prognose zur Empfehlung werden (vgl. Bauer 1968).

Nach Gausemeier u. a. (1995) können Prognosen in sichere und ungewisse Prognosen aufgeteilt werden. Sie unterscheiden ungewisse Prognosen nach drei Typen und modifizieren den Begriff Prognose in Projektion und Vorhersage. Typ I-Aussagen können keine Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden. Zukunftsbilder auf Basis von Typ I-Aussagen werden Projektionen genannt. Basieren diese Projektionen auf in der Vergangenheit liegenden Daten, dann sind es geradlinige Projektionen. Basieren solche Projektionen auf einer Intuition oder Spekulation des Zukunftsforschers, so ist von gewichteten Projektionen die Rede. Ihnen können keine Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden. Typ II- und Typ III-Aussagen können nur

subjektive bzw. objektive Eintrittswahrscheinlichkeiten zugeordnet werden. Zukunftsbilder, die auf Basis von Typ II- oder Typ III-Aussagen entwickelt wurden, werden auch Vorhersagen genannt. Im Gegensatz zu Projektionen können Vorhersagen in ihrer Gesamtheit subjektive Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden (vgl. Gausemeier u. a. 1995).

Zur besseren Abgrenzung von Prognosen und Vorhersagen, sind Prognosen (nach Bauer und Kosin 1967) eine Teilmenge der Klasse Vorhersage. Eine Vorhersage ist dann eine Prognose, wenn diese wissenschaftlich begründete Aussagen ermöglicht. Dies wiederum geht mit der Auffassung wissenschaftlicher Kausalzusammenhänge von Schmölders (1963) einher, der ebenfalls von Prognosen spricht. Wissenschaftlich begründet sind Prognosen, wenn sie eine Aussage über eine Situation treffen und diese Aussage auf der Basis wissenschaftlicher Zusammenhänge basiert (vgl. Bauer and Kosin 1967, Gehmacher 1971). **Abbildung 5.2** gibt Aufschluss über die Begriffszusammenhänge.

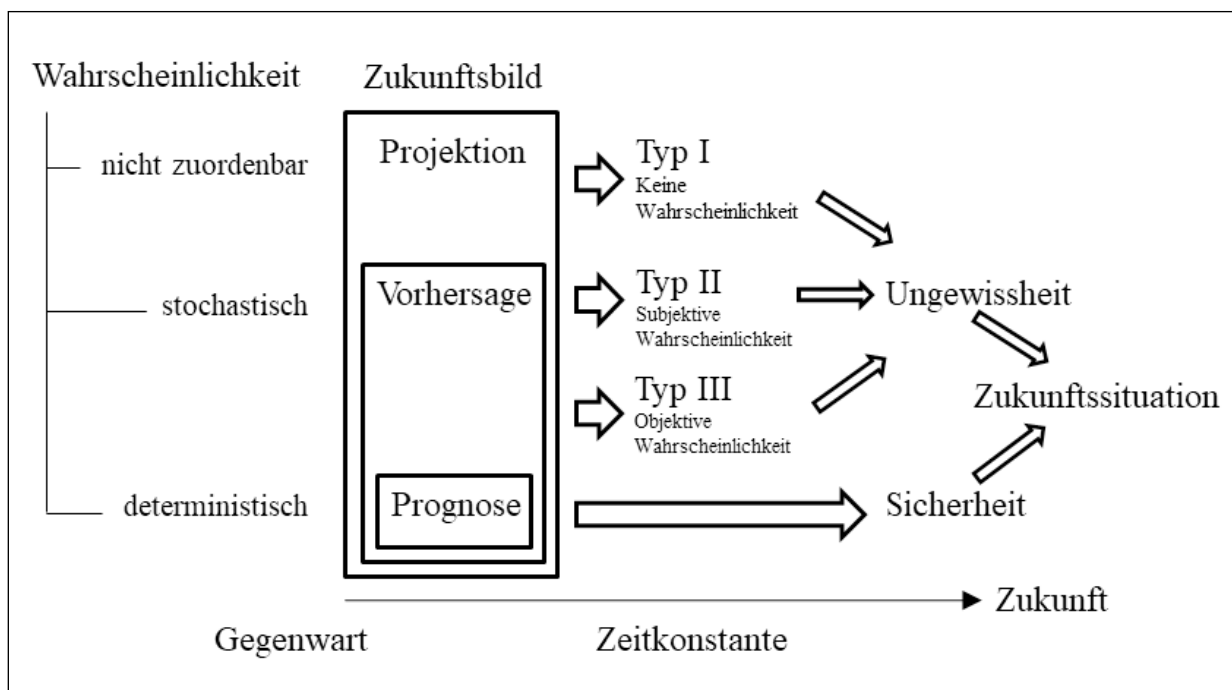


Abbildung 5.2 Zukunftsbilder und Wahrscheinlichkeiten (vgl. Gausemeier u. a. 1995)

Aus der **Abbildung 5.2** wird auch erkennbar, dass die Zeitkonstante ein wesentlicher Bestandteil von Voraussagen ist. Denn ohne eine zeitliche Einbettung der Voraussagen könnten diese weder widerlegt werden noch einen zeitlich absehbaren Nutzen stiften, weswegen sie ohne Auswirkung wären (vgl. Flechtheim 1980). Wird dieser Gedanke weitergeführt, so liegt der Sinn in der Zukunftsforschung darin, zukunftsorientierte und zeitlich abgegrenzte Möglichkeiten aufzulisten, um sich bestmöglich auf die Zukunft vorbereiten und sie aktiv gestalten zu können (vgl. Cuhls 2009b).

5.1.3 Was bedeutet Zukunftsphilosophie?

Die in der Zukunftsphilosophie üblicherweise verwendeten Begriffe sind Visionen, Utopien und Ideologien. More prägte 1516 erstmalig den Begriff einer Utopie in seinem Werk „Utopia“ (vgl. Ritter 1940). Hingegen wurde der Begriff der Ideologie erst mit dem Werk von

Destutt de Tracy „*Éléments d'idéologie*“ im Jahre 1801 sprachüblich (vgl. Ermecke 2013). Beide Begriffe wurden seitdem gleichermaßen für Auseinandersetzungen um den sozialen Fortschritt verwendet. Mannheims Werk „*Ideologie und Utopie*“ hat allerdings aufgezeigt, dass einerseits klare Unterscheidungsmerkmale existieren, beide Begriffe andererseits aber auch zusammengehören (vgl. Flechtheim 1980). Demnach ist die Ideologie der Schein und die Utopie ein Traum einer gerechten Lebensordnung. Die Ideologie hat somit einen objektiv gerichteten Funktionszusammenhang (vgl. Neusüss 1986), wogegen die Utopie fiktionales Denken mit nicht zu verwirklichenden Zielvorstellungen beinhaltet (vgl. Mannheim 1969). Für den weiteren Argumentationsverlauf ist eine nähere Unterscheidung beider Begriffe nicht notwendig, sodass es bei dieser übergeordneten Darstellung bleibt.

Dass Utopien und Ideologien für das menschliche Planen und Handeln unabdingbar sind, wird von Ozbekhan (1967) damit erklärt, dass Veränderungen stark durch das aktuelle Blickfeld beeinflusst werden. Dadurch können keine neuen Entwicklungen vorangetrieben werden. In diesem Sinne seien Entwicklungen nur eine Art der Modifikation und Anpassung der Realität.

Demnach gibt es einen Unterschied zwischen „schöpferischen“ Planen und üblichen Planvorgängen beim Bau, in Unternehmen oder in der Politik. Und dieser Unterschied ist gleichermaßen bedeutend für die Existenzberechtigung utopischer Zukunftsbilder. Gausemeier u. a. (1995) unterscheiden wünschenswerte Zukunftsbilder in Utopien, Visionen sowie in argumentativ und technisch erreichbare Zukünfte. Sie unterscheiden auch nach dem Grad der Erreichbarkeit, die eine Utopie als übergeordnetes Zukunftsbild bis hin zu einem technologisch erreichbaren Zukunftsbild darstellen lässt.

Utopien sind demnach unerreichbar. Sie stellen, wie oben dargestellt, einen Traum einer neuen und gerechten Lebensordnung dar. Sind die Zukunftsbilder theoretisch realisierbar, so wird von Visionen gesprochen. Visionen bieten einen Anhaltspunkt für tiefergehende Ziele. Visionäre sind deshalb so anziehende Charaktere, weil sie von etwas erzählen, für das es zum Zeitpunkt des Aussprechens noch keinen Entwicklungsweg gibt. Ab dem Zeitpunkt, an dem Visionen argumentativ erreicht werden können, werden Visionen zu argumentativ erreichbaren Zukünften. Gausemeier u. a. (1995) beschreiben diese Art von Zukünften mit einer „wenn-dann“-Beziehung. Diese Art von Beziehung impliziert, dass die Zukunft unter einer vorgegebenen Menge von Kausalzusammenhängen erreicht werden kann. Diese Schritte müssen zu diesem Zeitpunkt aber noch nicht realisierbar sein. Kann diese Zukunft dann nicht nur argumentativ, sondern auch praktisch erreicht werden, sind es technologisch erreichbare Zukünfte. Wichtig bei diesen Zukünften ist, dass sie durch keine Ressourceneinschränkungen charakterisiert sind (vgl. Gausemeier u. a. 1995).

5.1.4 Was bedeutet Zukunftsgestaltung?

Sind die Fragen nach den möglichen (Zukunftsforschung) und den gewünschten (Zukunftsphilosophie) Zukünften geklärt worden, so kommt es zur Zukunftsgestaltung (oder auch -planung). Für eine Planung sind die Ziele und die zur Zielerreichung benötigten Mittel notwendig. Daraus abgeleitet ergeben sich somit die Zielplanung und eine Mittelplanung, in

der die für die Erreichung der Ziele benötigten Ressourcen und Mittel festgelegt werden. Ein vollständiger Planungsprozess benötigt somit normative als auch explorative Methoden und ist durch einen Feedback-Prozess charakterisiert (vgl. Jantsch 1967).

Die Plansituation wird charakterisiert durch ein Plansubjekt (Mensch oder Maschine), welches einen Bereich (Plangegegenstand) verändern kann (Realisierbarkeit des Zielsystems). Ebenso gehören steuerbare Elemente (Mittel) und nichtsteuerbare Elemente (Umstände), die bei der Zielverwirklichung in hemmender oder unterstützender Art und Weise Einfluss nehmen, zur Plansituation (vgl. Bauer 1968).

Häusler (1969) unterscheidet das Plansubjekt nach Grad der Handlungsfreiheit zum Zielsystem. Demnach sind Technokraten bei determinierten Prozessen zu wählen. Sind die Prozesse im Zielsystem nicht vorhersagbar und die Handlungsfreiheit somit hoch, ist hier ein Ideologe zur Planerstellung angeraten. Zwischen diesen beiden Extremen sieht Häusler den „Planer“, der nach seinen Wertmaßstäben das Zukunftsbild gestaltet (vgl. Häusler 1969). Ist das Zukunftsbild von vorhersagbaren Prozessen geprägt, so ist eine normative Vorausschau möglich, da diese nur in geschlossenen Systemen funktioniert, also in Systemen, die nicht von externen Fremdeinwirkungen betroffen sind. Ist das System allerdings durch Unsicherheit und freiheitliche Prozesse geprägt, so ist eine explorative Vorgehensweise vorzuziehen.

Durch Planung wird die Zukunft in die Gegenwart geholt und die Zeit in einen Zeitraum verwandelt (vgl. Anders 1964). Es wird nach dem „Working Forward“ und „Working Backward“-Ansatz unterschieden. Der Unterschied in der Zielgestaltung liegt in der Ausgangsposition der Zielerstellung. Beim „Working Forward“-Ansatz, auch *gegenwartsorientierte* Zielplanung, wird aus der Gegenwart ein Zielsystem und ein technologisch erreichbares Zukunftsbild aufgebaut. Beim „Working Backward“-Ansatz, welcher auch *visionäre* Zielplanung genannt wird, werden, ausgehend von einem gewünschten Zukunftsbild, die Maßnahmen für die Gegenwart abgeleitet (vgl. Gausemeier u. a. 1995).

Die Zukunftsplanung ist somit systematisch und methodisch. Sie beschreibt eine Vorgehensweise, die ein gewünschtes Zielsystem ermöglicht. Der dabei entwickelte „Plan“ und die „Planung“ werden unterschieden und stehen stellvertretend für die Gesamtheit von Zielen in dem zu beeinflussenden Zielbereich. Während die Prognose zielsuchend und entscheidungsvorbereitend ist, ist die Planung zielsetzend und entscheidungsdurchführend. Ein Plan ist das Ergebnis der Planung und ist eine systematische Vorbereitung auf die Zukunft. Im Vergleich zur Prognose besitzt der Plan einen imperativischen Charakter.

In der Regel sind Planungsimpulse auf gesellschaftliche Missstände oder auf Initiativen zur Verbesserung der Lebensumstände zurückzuführen. Die dabei verfolgten Funktionen und Ziele sind die Stabilisierung oder Befriedigung von benötigten gesellschaftlichen Bedürfnissen (z. B. Nahrungsmittelversorgung, Kindergärten, Schulen, öffentliches Verkehrssystem) oder langfristige gesellschaftliche Umbaumaßnahmen (z. B. Sozialstruktur, Krankenversicherungssystem). Die Voraussetzungen einer Planung müssen theoretisch, kulturell, politisch, sozial und technisch begründet sowie machbar sein. Die Durchführung eines Plans ist zwingend abhängig von der Zustimmung der beeinflussten Parteien sowie von der alleinigen Ver-

fügungsgewalt über die Erlaubnis einer Plandurchführung. Die Methoden der Planung reichen von der simplen Reduzierung des Planbereichs in räumlicher und zeitlicher Hinsicht bis hin zu komplexen Modellbildungen des Zielsystems. Der Planungsverlauf stellt die logische Abfolge von Arbeitsabschnitten der Planung dar (vgl. Flechtheim 1980, Lenk 1966).

5.1.5 Konsequenz

Ausgehend von den Informationen aus diesem Kapitel ist anhand der dritten Forschungsfrage **„In welche Richtung können sich intelligente Transportsysteme für den Straßengüterverkehr entwickeln?“** erkennbar, dass es sich hiermit um eine Frage für den Teilbereich Zukunftsforschung handelt. Die Fortführung philosophischer und planerischer Untersuchungen der Telematiksysteme für den Straßengüterverkehr wird dementsprechend nicht weiter verfolgt. Im Folgenden werden deshalb Methoden systematisiert, untersucht und beschrieben, sodass im nächsten Schritt eine adäquate dem Forschungsziel angepasste Methode gewählt werden kann.

5.2 Systematisierungsansätze in der Zukunftsforschung

Steinmüller (1997) spricht von zwei grundlegenden Systematisierungssträngen in der Zukunftsforschung. Zum einen wird nach explorativen, projektiven, rekursiven sowie intuitiven und zum anderen nach qualitativen sowie quantitativen Methoden der Zukunftsforschung unterschieden. Während quantitative Vorhersagemethoden durch kausale Zusammenhänge und Zeitreihenanalysen schon früh eingesetzt wurden, wurden qualitative Vorhersageverfahren erst Mitte der 40er Jahre und Anfang der 50er Jahre weiterentwickelt, um eine bessere Informationsgrundlage bei der Entscheidungsfindung zu haben (vgl. Jantsch 1967, Makridakis u. a. 1980). Qualitativ ausgerichtete Forschungsmethoden lassen sich dabei in drei Kategorien unterteilen (vgl. Canzler 1991):

- Prognosetechnik
- Szenariotechnik
- Simulationstechnik

In dem 1980 erschienenen Buch „Prognosetechniken für Manager“ von Makridakis u. a. (1980) werden Vorhersagemethoden nach informellen und formellen Vorhersageverfahren unterschieden. Informelle Vorhersageverfahren sind intuitive Vorhersagen, die von ihrer Art nicht auf andere ähnliche Situationen übertragbar sind. Sie sind weder methodisch noch systematisch und sind für die wissenschaftliche Herangehensweise deshalb nicht relevant. Formelle Vorhersagemethoden hingegen ermöglichen anhand von festgelegten Prozessschritten die methodische und systematische Anwendung in anderen ähnlichen Situationen. Hier kann in qualitative und quantitative Verfahren differenziert werden (vgl. Makridakis u. a. 1980). Quantitative Verfahren, darunter zählen Zeitreihenverfahren sowie kausale oder regressive Verfahren, sind für Zeiträume **bis** zu zwei Jahren geeigneter, wohingegen qualitative Verfahren, aufgegliedert in technologische Vorhersagen und subjektive Verfahren, für Zeiträume **ab** zwei Jahren geeigneter sind. Da es sich bei „Prognosetechniken für Manager“ um ein Handbuch für den Entscheidungsträger im Unternehmen handelt, müssen die Ergeb-

nisse vor dem wissenschaftlichen Kontext mit Vorsicht betrachtet werden. Dennoch sind auch für Unternehmen strategische Entscheidungen, die sich auf die unternehmerische Ausrichtung für einen Zeitpunkt in 15 bis 20 Jahren beziehen, nicht auf Basis vergangener Absatz- oder Produktionsdaten zu treffen. Insofern sind die Ausführungen – trotz Managementbezug – zu qualitativen Prognoseverfahren auch für diese Ausarbeitung relevant.

Makridakis u. a. (1980) unterscheiden weiter Verfahren zur qualitativen Prognoseerstellung nach explorativen und normativen Verfahren. Explorative Verfahren entwickeln aus derzeitigen Trends und aktuellem Wissensstand zukünftige mögliche Ereignisse oder Szenarien. Normative Verfahren betrachten wünschenswerte Ereignisse in der Zukunft und leiten daraus Maßnahmen für die jetzige Situation ab. Der Unterschied dieser beiden Verfahren lässt sich am einfachsten erklären, wenn die Rolle der Entscheidungen betrachtet wird. Während die zukünftige Entwicklung bei explorativen Verfahren auf Basis von Trends und kurzfristigen Entscheidungen entsteht, werden bei normativen Verfahren Entscheidungen in Abhängigkeit der langfristigen Ziele getroffen. Bei letzterem Verfahren wirkt der Entscheider demnach bewusst an der zukünftigen Ausgestaltung mit.

Steinmüller (1997) betont die Schwierigkeit, die bei einer Systematisierung von Prognosemethoden besteht. Unter Bezugnahme auf Kreibich (1986) weist er darauf hin, dass die Gründe hierfür unter anderem in der wissenschaftlichen Herangehensweise der Methoden sowie in der regelmäßigen Kombination verschiedener Methoden zu finden sind. Auch die große Anzahl an verschiedenen Einteilungskriterien sowie Methoden (nach Jantsch (1967) gibt es mehr als 100 unterschiedliche Methoden) tragen zur Komplexitätserhöhung bei.

Der zweite Systematisierungsansatz führt auf Jantsch (1967) zurück. Demnach ist eine Unterscheidung der Methoden nach intuitiven, explorativen, projektiven und rekursiven Methoden möglich. Mettler fügt noch zwei weitere Kategorien hinzu: normative und rückgekoppelte Methoden (vgl. Mettler 1979 zitiert nach Steinmüller 1997). Jantsch (1967) verzichtet bewusst auf die Einteilung in quantitative und qualitative Methoden, da viele Methoden beide Ansätze verfolgen und somit keine klare Abgrenzung möglich ist.

Insgesamt befinden sich die Methoden der Zukunftsforschung in einem Spektrum zwischen normativen und explorativen Ansätzen. Bei explorativen Ansätzen geht es um Gelegenheiten, Möglichkeiten und Chancen. Bei normativen Ansätzen geht es hauptsächlich um die Bedürfnisbefriedigung auf lange Sicht. Zukunftsforschung verfolgt eine Kombination beider Ansätze. Insofern ist es ein wenig verwirrend, wenn in der Nomenklatur ebenso von explorativen und normativen Methoden gesprochen wird, da hierin schnell die Vermutung aufkommen könnte, dass dies die einzig richtige Klassifikation von Methoden der Zukunftsforschung sei. Diese Annahme obliegt jedoch einem Irrtum, da es sich bei den genannten Ansätzen um perspektivische Zukunftsansätze handelt, Methoden jedoch an unterschiedlichen Stellen und mit unterschiedlichen Startbedingungen an der Zukunftsforschung ansetzen können. Deshalb sind auch intuitive, rekursive, rückgekoppelte sowie projektive Methoden vorhanden (vgl. Alisch und Rölke 1987, Steinmüller 1997).

Intuitive Methoden haben mit der Entwicklung der Delphi-Technik ihre Daseinsberechtigung in der wissenschaftlichen Zukunftsforschung erlangt. Jantsch (1967) schreibt, dass mit der Delphi-Technik alle Ebenen seines aufgestellten Technologietransfer-Schema (vier Entwicklungsebenen und vier Einflussebenen) erreicht werden können. Auf der Basis von subjektiven Aussagen verschiedener Statusgruppen können Ideen und zukünftige Entwicklungen zu bestimmten Sachverhalten generiert werden. Weitere intuitive Methoden sind beispielsweise Brain-Storming, Synektik, Science-Creation, Science-Fiction sowie Utopia-Beschreibungen.

Explorative Methoden können in zwei Kategorien eingeteilt werden (vgl. Jantsch 1967): Zum einen können explorative Methoden dazu verwendet werden, um aufbauend auf vorhanden Daten Prognosen und Zukunftsbilder zu bestimmen und somit neue Informationen zu generieren. Hilfsmittel können mathematische Modelle und Programmierungen sein. Zum anderen können Methoden dieser Art aber auch Muster und Strukturen aus vorhandenen Daten erstellen. Hierzu seien beispielhaft folgende Methoden aufgeführt: Extrapolation von Trends und Zeitreihen, Trendbruchanalyse, Szenarien, Input-Output-Analysen sowie historische Analysen.

Projektive und rekursive Methoden verwenden Methoden, die auf wenigen quantifizierbaren Daten beruhen. Sie haben einen starken Bezug zu mathematischen Modellen und Simulationen. Aus den Modellen und Simulationen gewonnene Erkenntnisse lassen sich mithilfe dieser Methoden auf die Realität übertragen. Bei rekursiven Methoden ist die Besonderheit, dass im System eingetragene Prognosewerte kontinuierlich auf ihre Aussagekraft überprüft und bei Abweichung korrigiert und aktualisiert werden. Beispiele solcher Methoden sind die Präferenzanalyse, Entscheidungsmodelle, Netzplantechnik, Programmierungsverfahren, Relevanzbaumanalysen sowie Managementinformationssysteme (vgl. Steinmüller 1997).

Normative Methoden wurden aus der Verantwortung gegenüber der Gesellschaft und deren Wohlstand entwickelt. Es wurde erkannt, dass neue Technologien ein hohes wirtschaftliches und technologisches Potential besitzen sowie dass die Möglichkeit einer präventiven Risikominimierung besteht. Normative Ziele sind nur erreichbar, wenn das Zielsystem durch Restriktionen abgesteckt ist und Grenzen aufweist (vgl. Jantsch 1967). Beispiele für normative Methoden lassen sich im Operations Research, in der Systemanalyse oder der Spiel- und Entscheidungstheorie finden.

Feedback Methoden wurden in Jantsch (1967) als eine weitere Kategorie der Methoden der Zukunftsforschung erwähnt. Diese Methoden verbinden Elemente aus beiden perspektivischen Zukunftsansätzen oder bauen auf neuen Datensätzen auf. Bei der Erklärung möglicher Methodenansätze bezieht sich Jantsch (1967) auf seine acht Einflussebenen neuer Technologien und wie diese dazu beitragen können, eine Feedback-Methode zu entwickeln.

Eine weitere Möglichkeit der Methodenklassifizierung bietet Zimmermann (1993). Er unterscheidet Methoden nach ihrer Funktion und nach der Art und Weise des Wissensgewinns. Demnach können Methoden zur Entwicklung einer Aussagebasis (Brainstorming, Delphi, Trendextrapolation, Cross-Impact-Analyse, etc.), zur Bewertung von Aussagen (Nutzwertanalyse, Kosten-Nutzen-Analyse, Interview, etc.) und zur Systementwicklung bzw. zur Sys-

temstrukturanalyse (Morphologische Studie, Simulation, Szenarioanalyse, etc.) verwendet werden. Ist die Funktion des Forschungsprozesses bekannt, so kann zudem nach Art und Weise unterschieden werden. Hier kann die Wissensgenerierung durch Wirkungsanalyse (Entscheidungsbaum, Netzplantechnik, Wertanalyse, etc.), Befragung (Interview, Delphi, Brainstorming, etc.), mathematische Verfahren der Datentransformation (Morphologische Studie, Nutzwertanalyse, Cross-Impact-Analyse, etc.) und Modellierung (Szenarioanalyse, Simulation, Science-Creation, etc.) erreicht werden. Die Brauchbarkeit dieser Klassifizierung ist wiederum zu hinterfragen, da auch hier noch – je nach Forschungszweck und Vorgang – weitere Kategorien hinzugefügt werden könnten.

Tabelle 5.1 Klassifizierung der gängigsten Methoden der Zukunftsforschung

	Normativ	Explorativ
Quantitativ	<ul style="list-style-type: none"> • Szenario-Technik • Quantitative Planungsmethoden 	<ul style="list-style-type: none"> • Szenario-Technik • Zeitreihenmethode • Extrapolationsmethode (Trend, Bruch) • Wechselwirkungsmethode • Modellierung, Simulation
Qualitativ	<ul style="list-style-type: none"> • Szenario-Technik • Delphi-Technik • Interview • Expertenbefragung • Brainstorming • Utopien und Science-Fiction 	<ul style="list-style-type: none"> • Szenario-Technik • Delphi-Technik • Interview • Expertenbefragung • Brainstorming

Schließlich wird noch das entwickelte Raster für Methoden der Zukunftsforschung nach Gordon (1992) aufgeführt, da dieses die am häufigsten genutzten Methoden in einem explorativ-normativ und quantitativ-qualitativ Zusammenhang aufzeigt und somit die beiden Klassifizierungsstränge zusammenführt. In **Tabelle 5.1** kann der Aussage von Jantsch (1967) nach der fehlenden Unterscheidbarkeit von Methoden der Zukunftsforschung in qualitative und quantitative Dimensionen zugestimmt werden, da die Szenariotechnik zum Beispiel in allen vier Quadranten vertreten ist. Ebenso kann die Delphi-Technik sowohl normativ als auch explorativ eingesetzt werden, was die Unterscheidung in dieser Dimension ebenfalls erschwert.

Gordon (1992) zufolge sind Menschen, die sich aus dem Methodenkoffer des oberen linken Quadranten bedienen, „Visionäre“. Diese Menschen können ihre Zukunftsbilder mit Hilfe von quantitativen Methoden abbilden. Im Gegensatz dazu befinden sich im unteren linken Quadranten ebenfalls Visionäre, die allerdings ihre Zukunftsbilder nur beschreiben und keine mathematische Grundlage anbieten können. Im unteren rechten Quadranten bedienen sich Zukunftsforscher an den genannten Methoden, die eine Vorstellung von der zukünftigen Entwicklung haben – allerdings tun sie dies mit qualitativen Beschreibungen. Letztendlich

sind im oberen rechten Quadranten Methoden aufgeführt, mit deren Hilfe eine zukünftige Entwicklung mit mathematischen Modellen und Gleichungen dargestellt werden kann. Gordon (1992) nennt Zukunftsforscher, die sich aus diesem Methodenkoffer bedienen, „Analysten“. Weitere Bemühungen, die Methoden der Zukunftsforschung zu systematisieren, führten Gordon im Jahr 1994 zu einer Aufstellung von 19 (vgl. Gordon 1994a) und im Jahr 2004 zu einer Aufstellung von 24 (vgl. Gordon und Glenn 2004) Methoden. Gleichzeitig gliederte Gordon diese Methoden jeweils nach ihrer technischen Vorgehensweise (quantitativ vs. qualitativ) und nach ihrem Zweck (explorativ vs. normativ).

Tabelle 5.2 Methoden der Zukunftsforschung und Klassifizierung nach Gordon und Glenn (2004)

Methoden	Quantitativ	Qualitativ	Normativ	Explorativ
Agent Modelling		X		X
Bibliometrics	X			X
Causal Layered Analysis		X		X
Cross-Impact Analysis	X			X
Decision Modelling	X			X
Delphi Techniques		X	X	X
Econometrics and Statistical Modelling	X			X
Environmental Scanning		X		X
Field Anomaly Relaxation		X		X
Futures Wheel		X	X	X
Genius Forecasting, Vision, and Intuition		X	X	X
Interactive Scenarios		X	X	X
Multiple Perspective		X	X	X
Participatory Methods		X	X	
Relevance Trees and Morphological Analysis		X	X	
Road Mapping		X	X	X
Scenarios	X	X	X	X
Simulation-Gaming		X		X
State of the Future Index	X	X	X	X
Structural Analysis	X	X		X
Systems Modelling	X			X
Technological Sequence Analysis		X	X	
Text Mining		X	X	X
Trend Impact Analysis	X			X

Die in der **Tabelle 5.2** dargestellten Methoden ermöglichen eine schnelle Sichtung der benötigten Datenstruktur. Da eine vollständige Zukunftsanalyse nur durch eine Verzahnung von explorativen und normativen Methoden möglich ist (vgl. Jantsch 1967), kann anhand dieser Darstellung eine zweckmäßige Methode gewählt werden. Es ist somit eine übersichtliche Erweiterung des obigen Rasters (s. **Tabelle 5.1**) um weitere Methoden.

Der Versuch, die unterschiedlichen Ansätze und auch die verwendeten Methoden in der Zukunftsforschung zu systematisieren, hat zu einer ähnlichen Fülle an Systematisierungsansätzen wie an Methodenvielfalt geführt. Eine zweckmäßige Orientierung bietet die Klassifizierung nach Gordon (1992) und Gordon und Glenn (2004), welche die Methodenvielfalt in qualitative und quantitative Ansätze sowie in normative und explorative Forschungszwecke unterteilen. Durch die Darstellung unterschiedlicher Systematisierungsansätze kann auch Steinmüllers Kritik, „Oftmals wird in undifferenzierter Weise ein „Methoden-Mix“ befürwortet, ohne allerdings auf ein bündiges Zusammenwirken der Einzelmethode im Forschungsprozess einzugehen sowie ohne spezifischen Bezug auf Ziele und Inhalte des Forschungsvorhabens.“ (Steinmüller 2008, S.98), entgegnet werden, dass durch die Darstellung des Forschungszwecks auch passende Methoden gewählt werden können (vgl. Blatter u. a. 2018).

Welche Klassifizierung nun richtig ist, lässt sich schwer sagen. Viele Forscher sprechen auch von einem Chaos in der Methodenvielfalt (vgl. Amer u. a. 2013, Bradfield u. a. 2005, Chermack 2002, Spaniol und Rowland 2018). Jede Klassifizierung hat ihre Vor- und Nachteile. Denn eine klare Unterscheidung in qualitative und quantitative Methoden ist vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Anknüpfungspunkte der Zukunftsforschung nicht ausreichend. Ebenso ist die Unterscheidung in projektive, rekursive, rückgekoppelte oder intuitive Methoden neben explorativen und normativen Methoden fraglich, da sich alle Methoden in einem „explorativ-normativ“ Spektrum befinden. Die Einteilung von Gordon (1994a) wird vor diesem Hintergrund als zweckmäßig empfunden. Aber auch die Einordnung von Zimmermann (1993) in Zweck sowie Art und Weise des Forschungsprozesses kann eine gute Ausgangsbasis für folgende Arbeiten bieten.

5.3 Methodenüberblick zur Ausgestaltung möglicher Zukünfte

5.3.1 Methoden-Mix in der Zukunftsforschung

Mögliche Zukunftspfade implizieren einen explorativen mehrstufigen Forschungscharakter. Auf der Basis von Zeitreihen- und Trendextrapolationen von gegenwärtigen Entwicklungen oder Expertenbefragungen (Interviews, Delphi-Technik) könnten erste mögliche Zukünfte gestaltet werden. Der Datencharakter dieser Methoden kann quantitativ und qualitativ sein. Im Weiteren Schritt könnten dann mögliche Systembilder alternativer Zukünfte gezeichnet werden. Dies kann mittels einer Morphologie, einer Simulation oder mehrerer Szenarien erfolgen. Es wird auch ersichtlich, dass die belastbare Entwicklung möglicher Zukunftspfade nur durch eine Kombination aus quantitativen und qualitativen Methoden bewerkstelligt werden kann.

Die Wahl der richtigen Prognosemethode kann nach den sechs Wahlkriterien von Makridakis u. a. (1980) (Zeithorizont, Detaillierungsgrad, Anzahl der Produkte, Kontrolle und Planung, Stabilität, vorhandene Planungsverfahren) erfolgen. Dieses Vorgehen entspricht allerdings einer Unternehmensperspektive. Im Rahmen eines Forschungsdesigns empfiehlt Steinmüller (1997) die Wahl der Prognosemethoden in Abhängigkeit der Zielstellung, der Verfügbarkeit von Informationen, der Einbeziehung von Akteuren und des zur Verfügung gestellten Zeit-Finanzrahmens. Die Verfügbarkeit von Informationen korreliert aus Forschungssicht mit der Kooperationsaffinität von privaten und öffentlichen Stellen und ist auch hier noch einmal branchenspezifisch. Davon abgeleitet ist auch die aktive Teilnahme an möglichen qualitativen Expertenrunden abhängig. Für die Anfertigung einer Dissertation ab Zulassungsbeginn sind an der Universität Bremen maximal fünf Jahre vorgesehen. Finanziell ist weder ein Rahmen festgelegt noch ein Budget vorhanden, sodass hierin die zeitlichen und finanziellen Restriktionen vorliegen.

Diese Entscheidungsgrundlage entspricht dem Charakter dieser Arbeit, sodass unter Berücksichtigung der genannten Aspekte die Szenario-Technik als anzuwendende Methode gewählt wird. Die Szenario-Technik ermöglicht das Zeichnen möglicher Zukünfte. Sie eignet sich für den geplanten Zukunftshorizont von mehr als 10 Jahren. Die eingangs erwähnte Mehrschichtigkeit des Forschungszwecks führt folglich auf einen Methoden-Mix. Steinmüller (1997) gibt eine überschaubare Aufstellung für einen typischen Methoden-Mix bei der Anwendung der Szenario-Technik (s. **Abbildung 5.3**).

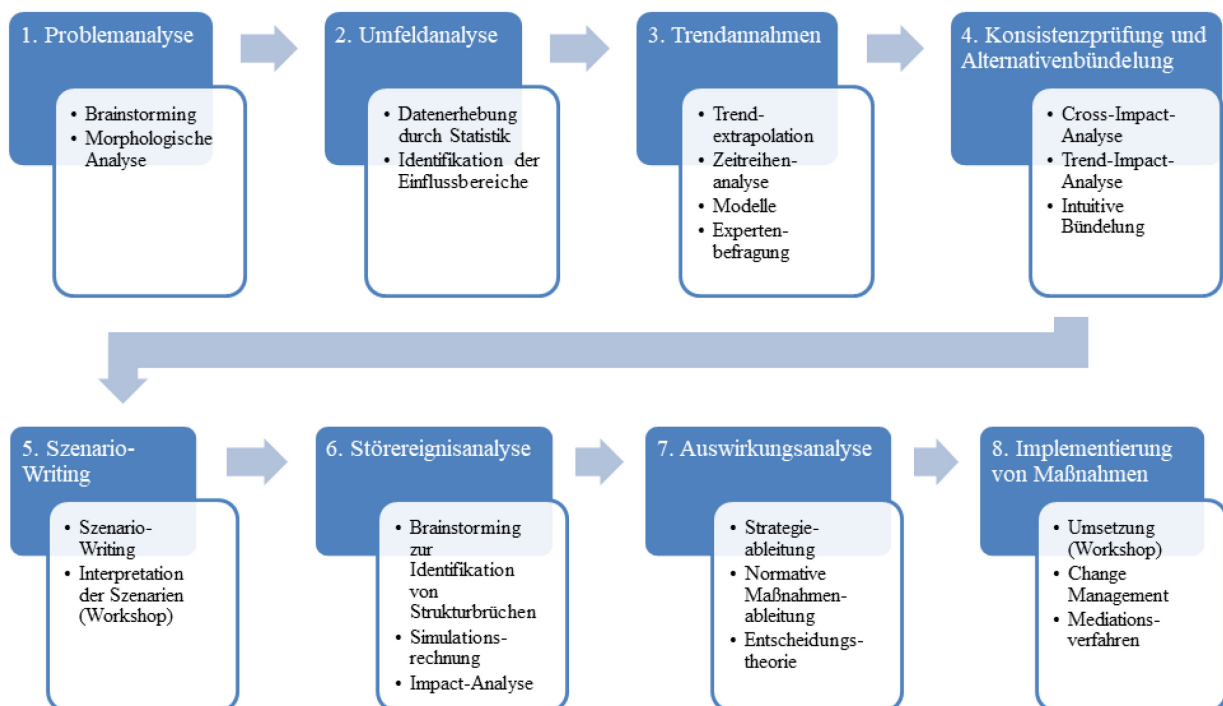


Abbildung 5.3 Methoden-Mix bei der Szenario-Technik (vgl. Steinmüller 1997)

Es wird erkennbar, dass jeder Prozessschritt innerhalb einer Szenarioanalyse mit mehreren Methoden gefestigt und erarbeitet werden kann. Aus diesem Grund werden im Folgenden

Methoden präsentiert, die aus Sicht des Autors für den Einsatz in diesem Szenarioprojekt in Frage kommen.

5.3.2 Delphi-Methode

Die Delphi-Methode gilt als eine der bedeutendsten Methoden zur Unterstützung unternehmerischer Strategieentwicklung und Zukunftsforschung. Sie gilt als eine subjektiv intuitive Methode der Vorausschau (vgl. Cuhls 2009a). Jänicke konstatiert, dass die Delphi-Methode vor allem eine Organisationsleistung sei, da es gilt, „die richtigen Leute am richtigen Ort zusammenzubringen und sie in einen kommunikativen Prozeß zu bringen.“ (Jänicke zitiert in Canzler 1991, S.177). Darüber hinaus ist die Delphi-Methode deshalb so populär, weil sie es schafft, die Meinungen der Experten zu systematisieren (vgl. Kahn und Bruce-Briggs 1972 zitiert nach Alisch und Rölke 1987, S.96-97).

Schriftliche Delphi

Die Delphi-Methode wurde 1960 von Helmer, Rescher, Dalkey u. a. in der RAND Corporation entwickelt. Die RAND Corporation wurde Ende des zweiten Weltkriegs als beratende Institution für die amerikanischen Streitkräfte gegründet. Namensgeber der Delphi-Methode ist das antike Orakel von Delphi. Dieses gab am Tag des Orakels Antworten auf die schriftlich eingereichten Fragen der Menschen (vgl. Häder 2014, Hasson u. a. 2000). Die Delphi-Methode versucht, einen Konsens oder eine Klarstellung eines Dissens unter den Expertenbewertungen zu einer vorher festgelegten Fragestellung zu erfassen und zu systematisieren (vgl. Schulz und Renn 2009). **Abbildung 5.4** stellt den schematischen Ablauf einer konventionellen Delphi-Studie dar. In der Vorphase wird ein Fragebogen erstellt und es werden Experten gezielt ausgewählt.

Zu Beginn einer Delphi-Studie erhalten alle Experten den Fragebogen und beantworten ihn vollständig anonym. Der Delphi-Moderator erstellt eine statistisch ermittelte Gruppenantwort und gibt den Experten ein Feedback zu ihrer eigenen Position innerhalb dieser Gruppenantwort. Die Experten haben dann die Möglichkeit, ihre Antwort anzupassen oder weitere Gründe für das „Nicht-Abrücken“ von ihrer Meinung anzugeben. Dieser Vorgang wird so häufig wiederholt, bis ein vorher festgelegtes Abbruchkriterium erfüllt ist. Dieses kann neben weiteren Kriterien beispielsweise im Erreichen eines Gruppenkonsenses oder Unterschreiten einer prozentualen Antwort-Rücklaufquote liegen.

Die richtige Expertenwahl (Größe, Struktur) stellt im Verlauf einer Delphi-Befragung ein wichtiges Qualitätsmerkmal dar. Ist diese zu homogen, so wird zwar ein Gruppenkonsens schnell erreicht, dabei könnten allerdings bestimmte Sichtweisen unberücksichtigt bleiben. Ist die Gruppenstruktur hingegen zu heterogen, wird es mit hoher Wahrscheinlichkeit zu keinem Konsens kommen. Ebenso kann die Art der Antworten stark variieren wenn aus der Sicht verschiedener Fachdisziplinen geantwortet wird.

Die Durchführung einer Delphi-Befragung kann per Schriftverkehr oder in Form eines Workshops an einem Austragungsort stattfinden. Die sogenannte Gruppendelphi (für die Schreibweise vgl. Schulz und Renn 2009) ist in den 1980er Jahren entstanden und kann als

modifizierte Delphi-Form betrachtet werden. Während im Rahmen einer klassischen Delphi-Methode inhaltliche Erläuterungen zu Argumenten fehlen können, kann diesem Umstand während eines Gruppendelphis vor Ort Abhilfe geschaffen werden, da die Experten ihre Argumente gegenseitig erklären können. Neben einer möglichen Klarstellung fraglicher Argumente seitens der Experten ist ein weiterer Vorteil die kürzere Delphi-Dauer. Im Gegensatz zu einer klassischen mehrmonatigen Delphi kann eine Gruppendelphi innerhalb eines ein- bis zweitägigen Workshops durchgeführt werden (vgl. Schulz und Renn 2009, Webler u. a. 1991). Allerdings verlieren die Experten im Rahmen eines Gruppendelphis ihre Anonymität, wodurch sich Statusgruppeneffekte ergeben können, was das Ergebnis negativ beeinflussen könnte.

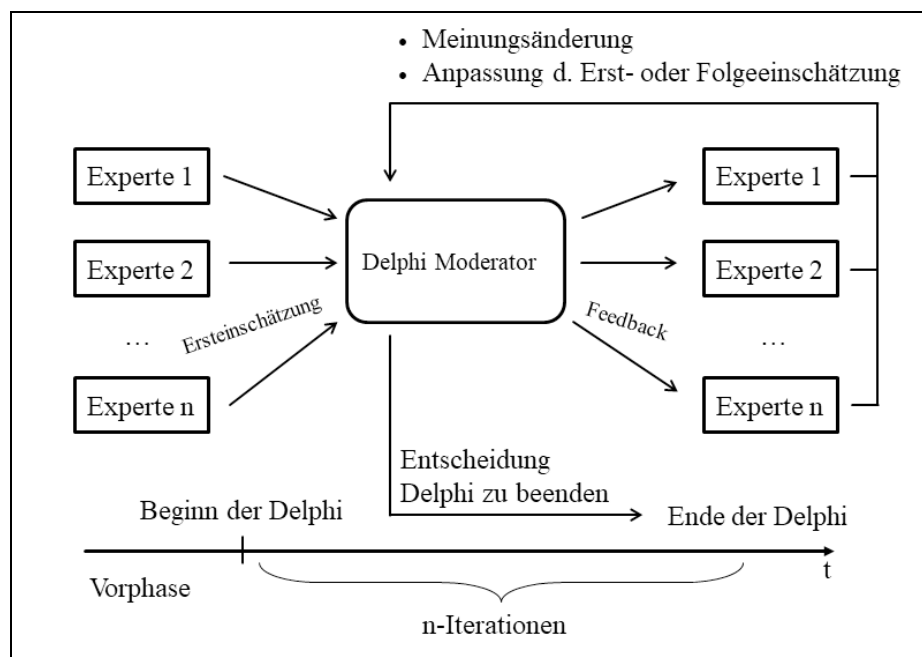


Abbildung 5.4 Schematische Darstellung eines Standard-Delphis

Echtzeit-Delphi

Konventionelle Delphi-Studien wurden in der Vergangenheit hinsichtlich verschiedener Schwachpunkte der Methode kritisiert: Schwerpunkt bildeten die mangelnde Verfügbarkeit der Experten, der hohe Zeitaufwand der Durchführung sowie die damit verbundenen hohen Abbruchraten. Eine Möglichkeit diesen Kritikpunkten Abhilfe zu verschaffen, bietet das sogenannte Echtzeit-Delphi. Diese Delphi-Form basiert auf einem Onlinetool, in dem die ausgewählten Experten den Fragebogen ausfüllen und durch automatisierte Feedbackverfahren ein Feedback in Echtzeit bekommen. So haben die Experten die Möglichkeit, ihre Meinung und die Begründungen anzupassen. **Abbildung 5.5** zeigt eine schematische Darstellung eines Echtzeit-Delphis.

Das im Zentrum stehende Onlinetool bringt mehrere Vorteile mit sich. Erstens ist die Geschwindigkeit im Ablauf einer Echtzeit-Delphi-Studie deutlich höher, sodass der Zeitaufwand für die Experten merklich sinkt. Zweitens erhöht sich die Eindeutigkeit der Beurteilungen, da jeder Experte seine vorher bearbeiteten Fragen im selben Eingabefenster wieder ändern

kann. Drittens ist hier die Standortunabhängigkeit zu nennen, da der Experte nicht an seinen Arbeitsplatz gebunden ist, sodass auch die Verfügbarkeit von Experten etwas erhöht wird. Der vierte und letzte wichtige Vorteil ist, dass konventionelle Delphi-Studien sehr einfach in das Echtzeit-Delphi-Studien-Design übertragen werden können.

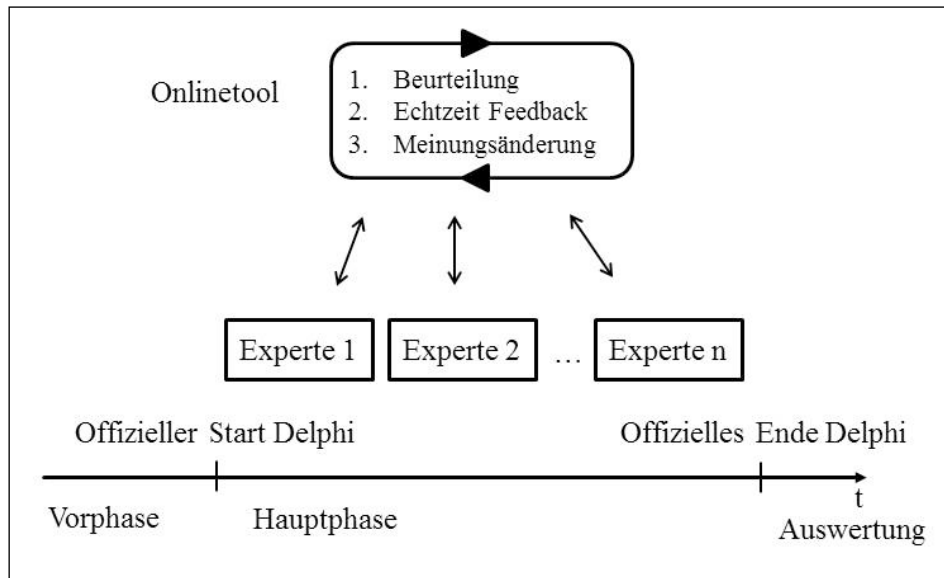


Abbildung 5.5 Schematische Darstellung eines Echtzeit-Delphis

Der insgesamt schnellere Verlauf einer Echtzeit-Delphi-Studie im Vergleich zur konventionellen Delphi-Studie verringert die Abbruchquote seitens der Experten. Denn der zeitliche Aufwand einer (konventionellen) Delphi-Studie ist einer der Gründe für einen frühzeitigen Teilnahmeabbruch seitens der Experten. Dadurch wird sowohl der iterative Prozess der Konsensbildung als auch die Validität und Reliabilität der Ergebnisse verbessert (vgl. Mitchell 1991).

Des Weiteren bietet eine Echtzeit-Delphi-Studie im Gegensatz zur konventionellen Delphi-Methode verschiedene Forschungsmehrwerte für Wissenschaftler. Die unmittelbare Online-Auswertung der Antworten der Teilnehmer und der visualisierte Abgleich mit den Durchschnittswerten der Studienteilnehmer stellen die wesentlichen Mehrwerte der Echtzeit-Delphi-Studie dar. Die Möglichkeit für Studienteilnehmer, sich während der Studienlaufzeit mehrfach einzuloggen und jederzeit am iterativen Forschungsprozess teilzunehmen, ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber des runden-basierten Ansatzes der konventionellen Delphi-Methode. Hierdurch können sowohl die Validität der Studie erhöht und gleichzeitig der zeitliche Aufwand für die Durchführung reduziert werden (vgl. Gnatzy u. a. 2011).

5.3.3 Trendextrapolation und Zeitreihenanalyse

Der Begriff Trendextrapolation mutet ein wenig kompliziert an, wenn bedacht wird, dass die meisten Menschen jeden Tag „Trends extrapolieren“. Wie Gordon (1992) anmerkt, kann dies subjektiv oder auch objektiv geschehen. Subjektives extrapolieren wäre eine Fortzeichnung gewisser Entwicklungen auf Basis eigener Erfahrungen und Kenntnisse. Wenn ein Mensch schlechte Erfahrungen im Umgang mit Hunden gemacht hat, so wird er im Kontakt mit Hun-

den aufgrund dieser Erfahrungen vorsichtig sein, egal ob der Hund erzogen oder „wirklich“ gefährlich ist. Der Mensch extrapoliert eine gefährliche Situation, wenn es zum Kontakt mit dem Hund kommt. Wird die Statistik über aufgezeichnete „Hund-auf-Mensch“-Angriffe einbezogen, so kann festgestellt werden, dass Hunde heutzutage weder abgerichtet noch von Grund auf böartig sind, sodass hier objektiv betrachtet keine Gefahr ausgeht. Die Trendextrapolation, ob subjektiv oder objektiv, schreibt vom Standpunkt der Betrachtung eine bestimmte Entwicklung fort.

Die Zeitreihenanalyse ist ähnlich, wobei hier mit mathematischen Modellen und Regressionsanalysen aus vergangenen Datenpunkten ein zukünftiger Verlauf fortgeschrieben wird. Dieser Verlauf kann linear, exponentiell, saisonal und andere Verlaufsformen haben. Das Fortschreiben dieser Verläufe hilft dabei, Aussagen über zukünftige Ereignisse zu treffen.

5.3.4 Szenario-Technik

Die Szenario-Technik ermöglicht es, unterschiedliche Zukunftsbilder zu zeichnen und dient als Analyseinstrument zur Prognose zukünftiger Entwicklungen. „Unter den qualitativen Methoden hat die Szenariotechnik die meisten und engagiertesten Fürsprecher. Diese Technik wird von mehreren Befragten ihrer kreativitätsfördernden und innovativen Effekte wegen als wichtigste Methode der Zukunftsforschung und Zukunftsgestaltung hervorgehoben.“ (Canzler 1991, S.200) Da die Zukunft aufgrund vieler Wechselwirkungen nicht auf ein bestimmtes Zukunftsbild festgelegt werden kann, zeichnet die Szenarioanalyse viele differente Zukunftsbilder. Indem ein Blick in mögliche Zukünfte geworfen wird, können Chancen, Potentiale aber auch Gefahren aufgedeckt werden, welche als Grundlage für strategische Unternehmensentscheidungen oder politische Richtlinien dienen können (vgl. Gausemeier und Grote 2012).

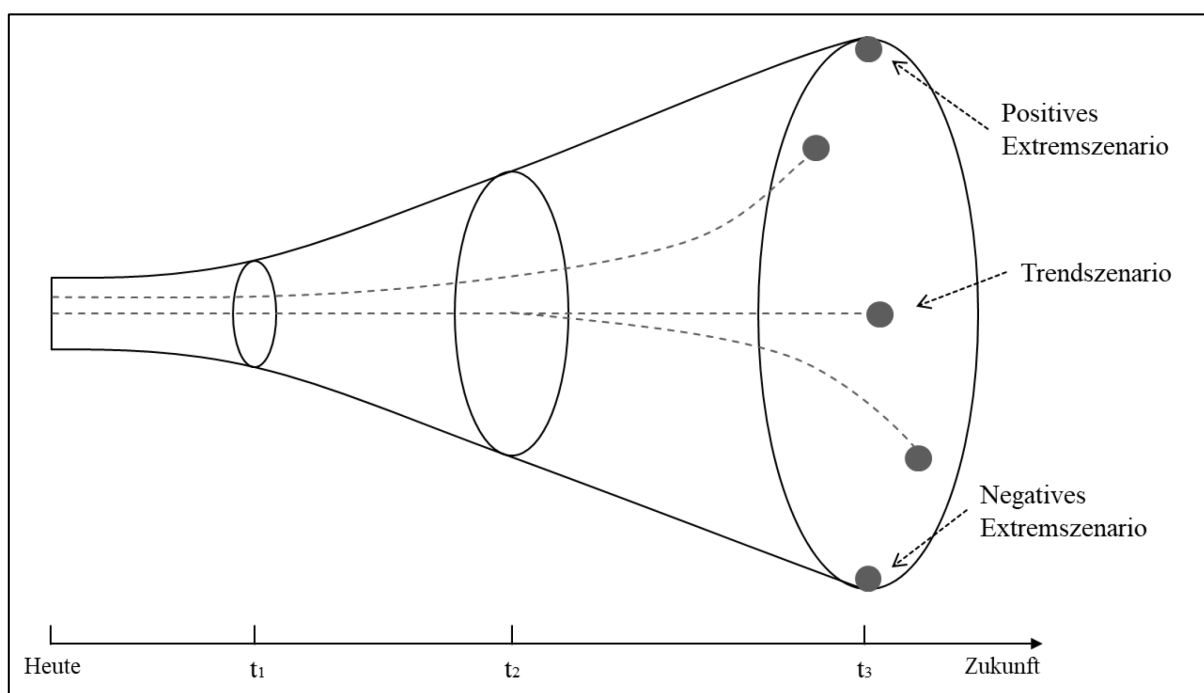


Abbildung 5.6 Szenario-Zukunftstrichter für mögliche Zukünfte

Abbildung 5.6 zeigt einen Zukunftstrichter, der mögliche zukünftige Szenarien sowie deren Entwicklungsverlauf entlang der Zeitachse darstellt. Er ist gleichermaßen auch das zentrale Element der Szenario-Technik. Die Szenarien, die sich am Rande des Zukunftstrichters befinden, sind Extremszenarien und bilden die Grenzen der möglichen Zukunftsbilder. Verläuft eine Entwicklung geradlinig und vorhersehbar vom „heutigen“ Zeitpunkt, so stellt das Szenario ein Trendszenario dar. Je weiter der betrachtete Zeithorizont ist, desto mehr öffnet sich der Zukunftstrichter und desto mehr unterschiedliche Szenarien gibt es (vgl. Möhrle und Müller 2002). Das bedeutet auch, dass die Komplexität und Unsicherheit mit Fortschreiten der Zeitachse größer wird.

Seit den 1950er Jahren haben sich bei der Erstellung von Szenarien drei grundsätzliche „Schulen“ ergeben: „intuitive logics“, „probabilistic modified trends“ und „la prospective“.

Intuitive logics

Die Methode der intuitiven Logik entstand in den 1950er Jahren in der RAND Corporation. Kahn, ein hochrangiger Mitarbeiter des zivilen Bevölkerungsschutzes und der strategischen Planung in RAND, entwickelte Szenarien für das groß angelegte Frühwarnsystem (Air Defense System Missile Command) (vgl. Bradfield u. a. 2005, Kahn 1984). Das prominenteste Unternehmen, das diese Methode bekannt machte, war die Shell Unternehmensgruppe. Sie entwickelte aufbauend auf Marktanalysen aus der ganzen Welt Szenarien, und war auf die Ölkrise in den Jahren 1973 und 1981 vorbereitet (vgl. Wack 1985).

Die Grundidee hinter der intuitiven Logik ist, dass wirtschaftlichen Entscheidungen immer vor dem Hintergrund eines komplexen wirtschaftlichen Systems getroffen werden. Zu diesem System gehören ökonomische, politische, gesellschaftliche, technologische, ressourcenbedingte und umweltbezogene Faktoren (vgl. Huss und Honton 1987b). Unternehmensentscheidungen werden auf Basis von teils sicheren Daten (demographische Entwicklung, finanzielle Ausgangssituation, historische Nachfrageverläufe) teils unsicheren Daten (Konumentenverhalten, Life-Style, Wettbewerbsdruck) getroffen. Deshalb ist es wichtig, mögliche Zukünfte zu ermitteln, um Entscheidungen in Abhängigkeit dieser Zukünfte verifizieren zu können.

Die populärste Szenarioanalyse nach der intuitiven Logik wurde von der Stanford Research Institute vorgeschlagen. Sie erfolgt in acht Schritten (vgl. Huss 1988, Huss und Honton 1987a, 1987b). Im ersten Schritt werden Schlüsselentscheidungen des Unternehmens mit Langzeitauswirkungen definiert. Darunter zählen u. a. Sortimentserweiterung, Kapitalzuweisung, Veräußerungen, Gebäudemanagement und Marktstrategien.

Nachdem der Fokus auf die wesentlichen Entscheidungen gerichtet wurde, werden in dem zweiten Schritt die hauptsächlichen Einflussfaktoren für jede Entscheidung identifiziert. Zur Identifikation der relevanten Faktoren werden Interviews mit wichtigen Führungskräften aus verschiedenen Abteilungen geführt. Im dritten Schritt werden die Umweltfaktoren ermittelt. Hierzu gehören z. B. gesellschaftliche, ökonomische, technologische und politische Faktoren. Im vierten Schritt werden die relevanten Umweltfaktoren in Bezug auf ihre Geschichte, Unsi-

cherheiten, Wechselwirkungen zu anderen Faktoren und Trends diskutiert und zusammengefasst.

Der fünfte Schritt bildet den Kern dieser Szenario-Methode. Im Gegensatz zu den quantitativen Methoden werden hier logische Zusammenschlüsse der identifizierten Trends, Unsicherheiten, Wechselwirkungen der Schlüsselfaktoren und externen Kräfte gebildet. Das Ergebnis sind Szenarien, die zwar weder positiv noch negativ sind, dafür aber mögliche Zukünfte in Abhängigkeit der logisch möglichen Entwicklungen darstellen. Danach findet im sechsten Schritt eine Ausarbeitung dieser logischen Zusammenschlüsse zu ausführlichen Szenarien statt.

Im siebten Schritt wird jedes Szenario in Hinblick auf die in Schritt zwei identifizierten Schlüsselfaktoren untersucht. Hierbei ist es notwendig, dass die Szenarien und Wechselwirkungen zu den einzelnen Schlüsselfaktoren in einer Art und Weise geschrieben sind, die Entscheidungsträger zu klaren Handlungsimplicationen führt. Im achten und damit letzten Schritt werden die Handlungsimplicationen und Szenarien vor dem Hintergrund spezifischer Fragen beleuchtet (vgl. Huss und Honton 1987b).

Probabilistic modified trends

Kurz nach Kahns Weggang verließen auch Helmer und Gordon die RAND Corporation und gründeten das „Institute of the Future“. Zusammen mit weiteren Wissenschaftlern, dem Stanford Research Institute und dem California Institute of Technology entwickelten sie Szenario-Techniken gestützt durch Wahrscheinlichkeitsrechnungen und Einflussbeziehungen auf quantitativer Basis (vgl. Bradfield u. a. 2005). Es wird hierbei zwischen zwei Methodenansätzen unterschieden: der Trend Impact Analysis (Trendwirkungsanalyse) und der Cross-Impact Analysis (Wechselwirkungsanalyse, vgl. **Kap. 5.3.6**).

Die Trendwirkungsanalyse wird nach der Futures Group in Glastonbury (Amerika) wie folgt dargestellt und angewendet (vgl. Huss und Honton 1987b). Zuerst werden das Szenariofeld und die Einflussfaktoren ermittelt. Für das Szenariofeld werden die zwei oder drei wichtigsten Schlüsselfaktoren ermittelt und in alternativen Zuständen beschrieben. Anschließend werden diese alternativen Schlüsselfaktorentwicklungen in einer Matrix zusammengefasst und daraus Szenarien gebildet, indem jede Alternative eines Schlüsselfaktors mit jeder Alternative eines anderen Schlüsselfaktors kombiniert wird. Für jede dieser Szenarien werden dann folgende fünf Schritte durchgeführt, um sie im Anschluss in Abhängigkeit der Trendwirkungsanalyse beschreiben zu können:

1. Identifikation wichtiger Trends
2. Trendextrapolation identifizierter Trends
3. Erstellung einer Liste mit möglichen einflussnehmenden Ereignissen (diese können ähnlich zu den externen Faktoren in der intuitiven Logik nach einzelnen Bereichen aufgestellt werden)
4. Bestimmung von Eintrittswahrscheinlichkeiten für jedes Ereignis in Abhängigkeit des betrachteten Szenarios

5. Bestimmung der Wirkung von Ereignissen auf die Trendextrapolation identifizierter Trends

Da die Wechselwirkungsanalyse in **Kapitel 5.3.6** genauer vorgestellt wird, wird hier auf eine Zusammenfassung dieser Analysetechnik verzichtet.

La prospective

Zeitlich parallel zur Entwicklung der *Intuitive logics* wurde die französische Schule der Szenarioanalyse durch Berger begründet. Innerhalb des Centre d'Etudes Prospectives wurde *La prospective* entwickelt. Grundidee war, dass die Zukunft nicht festgelegt ist und durch zielgerichtete Handlungen aus der Gegenwart verändert werden kann (vgl. Amer u. a. 2013). *La prospective* ermöglicht es, ein besseres Verständnis für die Probleme, Gefahren und Chancen der heutigen Welt zu entwickeln (vgl. de Jouvenel 1986). Dadurch können Szenarien als Leitpfaden einer besseren Zukunft verstanden werden.

Mitte der 1970er Jahre entwickelte Godet die Szenariomethode nach Berger weiter und verband qualitative mit quantitativen Methoden zur Szenariogenerierung. Die Szenarioerstellung nach der französischen Schule kann in vier Schritte unterteilt werden (vgl. Durand 1972):

1. Base
2. External context
3. Progression
4. Images

Im ersten Schritt (Base) wird eine tiefergehende Analyse der aktuellen Situation vorgenommen. Es werden die wichtigsten Zusammenhänge und Wechselwirkungen aufgezeigt. Aus dieser Situation werden die für das geplante Szenariofeld wichtigsten Faktoren extrahiert und relevante Einflüsse identifiziert.

Der zweite Schritt (External context) stellt die Darstellung der externen Einflüsse (gesellschaftliche, ökonomische, politische) dar. Allerdings werden – anstelle einer umfänglichen Analyse externer Einflüsse – wesentliche Einflüsse durch Hypothesen dargestellt. Die Hypothesen für externe Einflüsse sind keine Szenarioziele. Sie stellen lediglich eine Vereinfachung der externen Einflüsse dar, damit der Fokus auf dem Szenariofeld bleibt.

Der dritte Schritt (Progression) beinhaltet die Formung möglicher Szenarien. Dazu wird eine historische Modellierung verwendet. Die Modellierung ist abhängig von den Faktoren aus dem ersten Schritt und den externen Grenzen aus dem zweiten Schritt. Das System wird fortgeschrieben und ermöglicht Rückschlüsse und Anpassungen anfangs gewählter Trends, Faktoren und Einflüsse. Das Entwickeln und Fortschreiben eines historischen Modells basiert auf quantitativen und qualitativen Methoden.

Im vierten und letzten Schritt (Images) findet ein gelegentliches Innehalten während der historischen Systementwicklung im dritten Schritt statt. Der Grund liegt im Beschreiben des zu diesem Zeitpunkt existierenden Systems und der Wechselwirkungen und Veränderungen

der im System enthaltenen Faktoren und Einflüsse. Durch das mehrmalige Stoppen und aufzeigen der Situation können Vergleiche zwischen den Systembildern durchgeführt werden und Rückschlüsse auf die Faktoren und Systemzusammenhänge aus dem ersten Schritt gefällt werden. Im Verlaufe des Fortschreibens werden neue Informationen in diese Systeme eingeführt. Dazu zählen neue Trends, Ereignisse mit hohen Wahrscheinlichkeiten und die Systemabbildungen selbst. Indem die Systemabbildungen als zusätzlicher Informationsinput dient, kann sichergestellt werden, dass die Zukunftsforscher dafür sorgen dynamische und interagierende Systemabbildungen zu entwerfen, sodass es nicht zu einer absehbaren Zeitreihenextrapolation vom vorherigen Systemabbild kommt (vgl. Durand 1972).

Die hier präsentierten drei hauptsächlichen Verfahren zur Erstellung von Szenarien werden je nach Forschungszweck mit unterschiedlichen qualitativen und quantitativen Methoden vermengt. Im Gegensatz zu den beiden ersten englischsprachigen „Schulen“ steht die französische Schule stellvertretend für die Erstellung von normativen Szenarien. Da diese Arbeit mögliche ITS-Zukunftspfade für den Straßengüterverkehr erarbeitet, eignet sich die französische Schule nicht für dieses Vorhaben. Die Methode der „intuitive logics“ nach Kahn (vgl. Bradfield u. a. 2005) wird größtenteils von Teams innerhalb von Unternehmen verwendet. Sie ist stark unternehmensfixiert, da sie die externen Einflüsse (ökonomische, politische, technologische, soziale, Ressourcen- und Umweltfaktoren) auf unternehmerische Entscheidungen bezieht.

5.3.5 Modellbildung

Der Bau eines Modells ist abhängig von Wechselwirkungen und dem Zusammenspiel von das System beeinflussenden Faktoren. Je besser diese Wechselwirkungen quantifiziert werden und je detaillierter ein Modell ist, desto belastbarer sind die Ergebnisse, die es erzeugt. Je höher der Detaillierungsgrad des Modells ist, desto besser bildet das Modell die Realität ab. Dabei kann von größeren Modellen wie der wirtschaftlichen Macht eines Landes zu weniger komplexen Modellen wie dem Verhältnis zwischen Lernzeit und Klausurnote alles modelliert werden. Und auch hier können Modelle vereinfacht oder um weitere das System beeinflussende Faktoren ergänzt werden. Durch das Zusammenspiel wesentlicher Faktoren und das Variieren der Faktorenwerte können so Erkenntnisse über zukünftige Entwicklungen gewonnen werden (vgl. Gehmacher 1971, Gordon 1992).

System Dynamics ist eine von Forrester Mitte der 1950er Jahre entwickelte Methode zur ganzheitlichen Abbildung komplexer und dynamischer Systeme. Die große Stärke der Methode ist die Einbindung möglicher rekursiver Einflüsse. Das zeigt, wie Entscheidungen oder Startbedingungen in vorlaufenden Phasen einen Einfluss auf Faktoren in dieser Phase durch spätere Wechselwirkungen haben.

5.3.6 Wechselwirkungsanalyse

Die Wechselwirkungsanalyse (engl. Cross-Impact Analysis) wurde 1966 von Gordon und Helmer entwickelt. Sie ermöglicht die Bewertung und den Einfluss zukünftiger Ereignisse, indem sie versucht, den Zusammenhang zwischen diesen zukünftigen Ereignissen aufzude-

cken. In einem ersten Schritt werden alle relevanten zukünftigen Ereignisse ermittelt. Als Quelle dienen quantitative Daten und die Befragung von Experten. Im zweiten Schritt werden den Ereignissen Eintrittswahrscheinlichkeiten zugeordnet. Im dritten Schritt wird dann in einer „Cross-Impact Matrix“ der Einfluss eines jeden Ereignisses auf alle anderen Ereignisse bestimmt. Dabei stellt sich die Frage, inwiefern der Eintritt eines Ereignisses (Zeile) die Eintrittswahrscheinlichkeiten der anderen Ereignisse (Spalte) verändert. Im letzten Schritt wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Es wird ein Ereignis gewählt, dessen Eintrittswahrscheinlichkeit nicht eindeutig ist. Diese Eintrittswahrscheinlichkeit wird dann verändert und es wird überprüft, welche Einflüsse und Veränderungen die anderen Ereignisse dadurch erfahren. Verändern sich die anderen Einschätzungen erheblich, so handelt es sich um ein wichtiges Ereignis und es wird detaillierter analysiert. Andernfalls ist das Ereignis mit hoher Wahrscheinlichkeit uninteressant und hat keinen hohen Einfluss auf das System und die anderen Ereignisse (vgl. Gordon 1994b).

Die Darstellung der Einflüsse über Eintrittswahrscheinlichkeiten ist eine Form der Wechselwirkungen. Ebenso sind andere Formen möglich. Beispielsweise kann durch Skalenbeziehungen der Einfluss von Ereignissen oder Projektionen auf andere Ereignisse oder Projektionen bestimmt werden. Dabei kann beispielsweise die Frage gestellt werden, wie wahrscheinlich es ist, dass zwei Ereignisse in einem sich gegenseitig fördernden Umfeld eintreten könnten. Die Wertung dieser Frage könnte mit „0“ für „schließt sich aus“, „1“ für „Ereignisse sind indifferent zueinander“ und „2“ für „fördern sich gegenseitig“ gewertet werden. Durch diese Bewertung können Ereignisketten gebildet werden, aus denen wiederum Szenarien erstellt werden könnten.

5.3.7 Morphologie-Studien

Die morphologische Methode wurde von Zwicky entwickelt (vgl. Gehmacher 1971). Hierbei werden für eine Fragestellung alle wesentlichen Faktoren in übergeordneten Kategorien zusammengefasst. Die Kategorienanzahl bildet gleichzeitig die Anzahl an verschiedenen Dimensionen, die zur Lösung der Frage herangezogen werden. Anschließend werden alle möglichen Kombinationen (also ein Attribut einer Dimension mit einem Attribut der jeweils anderen Dimensionen) aufgezeigt. Es wird erkennbar, dass die Anzahl möglicher Kombinationen mit der Anzahl der Attribute einer Kategorie exponentiell ansteigt. Die Anzahl an möglichen Kombinationen kann jedoch durch das sinnvolle Eliminieren von Möglichkeiten im Voraus reduziert werden.

Im Verlauf dieses Kapitels wurden bisher ein kurzer Methodenüberblick und die grundsätzliche Vorgehensweise der vom Autor gewählten Methoden der Zukunftsforschung aufgezeigt. Dieser kurze Überblick wird nun im Hinblick auf das Ziel dieser Arbeit erweitert. Vor dem Hintergrund der Informationen aus diesem Kapitel, dem Zeithorizont der geplanten ITS-Zukunftspfade für den Straßengüterverkehr, dem hohen ITS-Detaillierungsgrad und den vielen Einflussfaktoren wird deshalb im Weiteren die Szenariotechnik verwendet und detailliert wiedergegeben.

5.4 Vorgehensweise bei einer Szenarioanalyse⁸

5.4.1 Allgemeine Vorstellung der Szenario-Methode

Die Szenario-Methode ermöglicht eine explorative Einsicht in die Zukünfte, wenn es darum geht die Möglichkeiten aufzudecken. Soll jedoch ein Zielsystem entwickelt werden, ermöglicht sie eine normative Vorgehensweise. Sie wird zumeist genutzt, um politische und technologische Fragen zu erörtern (vgl. Prüß und Tschoepe 1974). Aber auch in der Abschätzung technologischer Entwicklungen wird sie häufig verwendet (vgl. Alisch und Rölke 1987, Gausemeier und Grote 2012, Möhrle u. a. 2005). Die Anwendung der Szenario-Methode in ihrer reinsten Form ermöglicht nur eine qualitative Analyse der Zukünfte und entfaltet erst in einem auf qualitativen und quantitativen Methoden basierenden Methoden-Mix ihre volle Stärke (vgl. **Abbildung 5.3**) (vgl. Amer u. a. 2013). Welche Methoden dabei eingesetzt werden, ist in Abhängigkeit des Forschungszwecks und der gesetzten Forschungsfragen zu erörtern. Szenarien ermöglichen ausgehend von der Gegenwart eine schrittweise Darstellung von unterschiedlichen Entwicklungsverläufen abhängig von Ereignissen entlang der Zeitleiste. Das Ergebnis sind Szenarien, die objektiv analysiert sowie subjektiv interpretiert werden und sich zwischen den beiden Extrempolen (positiv und negativ) befinden (vgl. Pulver und Van Deveer 2007).

Es folgt nun eine nähere Betrachtung der Szenario-Methode nach Gausemeier u. a. (1995). Diese Vorgehensweise wird im Anschluss in **Kapitel 6** angewendet um eine Szenarioanalyse für ITS im Straßengüterverkehr durchzuführen. Es sei an dieser Stelle hinzugefügt, dass die Szenarioanalyse nach Gausemeier u. a. (1995) die Unternehmensperspektive einnimmt. Die nachfolgende Beschreibung dieser Methode wird sich vor dem Hintergrund des wissenschaftlichen Kontextes nur auf die wesentlichen Bestandteile der Szenarioanalyse beziehen und an gegebener Stelle auf nicht betrachtete Elemente verweisen.

Der Ablauf zur Entwicklung und Ausgestaltung der Szenarien unterteilt sich in fünf Phasen (Gausemeier und Grote 2012) (vgl. **Abbildung 5.7**): Die Szenario-Vorbereitung befasst sich mit der Eingrenzung des Untersuchungsfeldes. Die Szenariofeld-Analyse ermittelt die relevanten Schlüsselfaktoren aus der Menge der Einflussfaktoren. In der Szenario-Prognostik werden mögliche Zukunftsbilder gezeichnet. Im vierten Schritt, der Szenario-Bildung, werden die Projektionen der Schlüsselfaktoren zusammengelegt um mögliche Szenarien zu bilden. In der letzten Phase geht es um den Szenario-Transfer. Die gewählten Szenarien werden nun auf ihre Bedeutung und ihren Einfluss auf das Gestaltungsfeld analysiert. Im Folgenden werden diese fünf Phasen detailliert vorgestellt.

⁸ Wenn nicht explizit angegeben, so beziehen sich die Inhalte der Szenarioanalyse im Weiteren auf das Buch von Gausemeier u. a. (1995) „Szenario-Management: Planen und Führen mit Szenarien“.

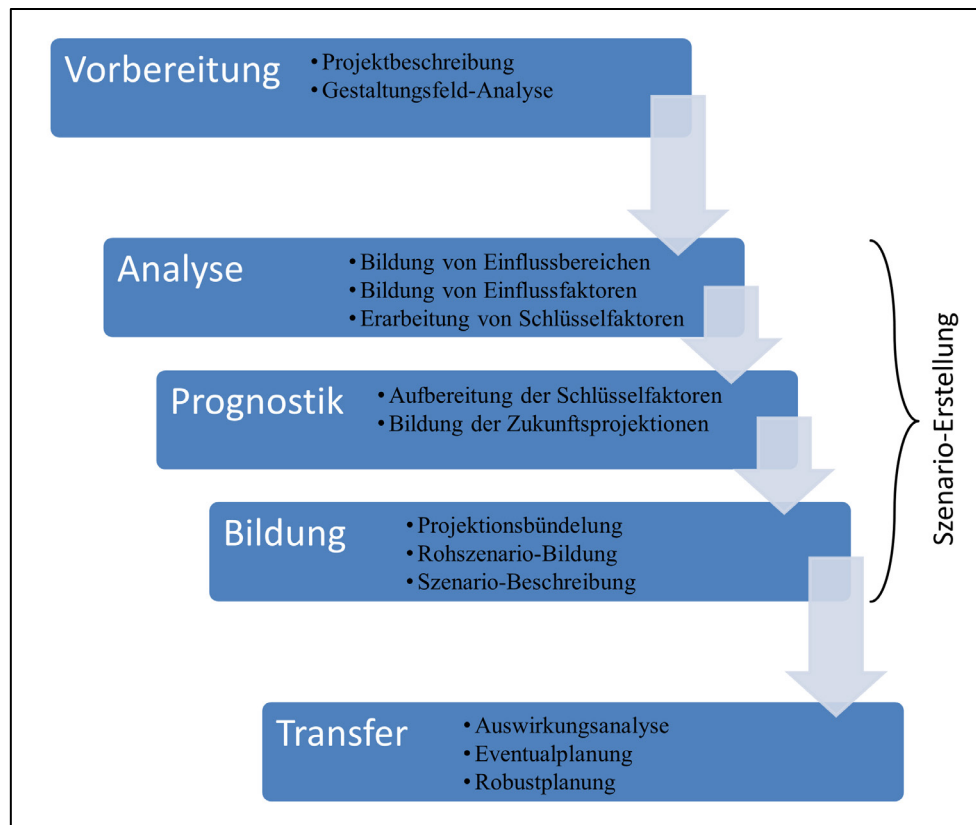


Abbildung 5.7 Phasenmodell des Szenario-Managements nach Gausemeier u. a. (1995)

5.4.2 Szenario-Vorbereitung

Die Grundlage einer Szenarioanalyse nach Gausemeier u. a. (1995) bildet die Projektbeschreibung sowie die Gestaltungsfeld-Analyse. Die Projektbeschreibung legt Aufgaben fest, die mittels Szenarien geklärt werden sollen. In ihr wird auch die Art der betrachteten Szenarien geklärt sowie die beteiligten Interessengruppen festgelegt. Ausgehend von der Gestaltungsfeld-Analyse werden im weiteren Verlauf die Szenarien erstellt.

Projektbeschreibung

In der Projektbeschreibung werden die Aufgaben des Szenario-Projekts bestimmt. Dazu ist es notwendig, das Gestaltungsfeld zu benennen. Gestaltungsfelder sind das, was mit der Szenarioanalyse gestaltet wird. Mögliche Gestaltungsfelder sind beispielsweise Unternehmen, Produkte und Technologien. Szenarien werden dann je nach Gestaltungsfeld als Produkt-, Unternehmens-, Technologie- oder Globalszenarien bezeichnet. Diese Grundformen der Szenarien können dann in **Ziel- oder Mittelplanung** unterschieden werden. Bei der Zielplanung werden, ausgehend von den erstellten Szenarien, Ziele für gegenwärtige Entscheidungen abgeleitet. Bei der Mittelplanung hingegen stehen angestrebte Ziele bereits im Vorfeld fest, und die entwickelten Szenarien dienen als mögliche Entwicklungen getroffener Entscheidungen, aus denen die optimalste und vielversprechendste Entscheidung zur Zielerreichung gewählt wird. Durch die Kombination der vier Szenariogrundformen mit der Art der Planung, können acht Formen des Szenarios unterschieden werden.

Neben dem Gestaltungsfeld wird in der Projektbeschreibung auch das Szenariofeld definiert. Dieses umgibt die Gestaltungsfelder und enthält die beeinflussenden internen Lenkungsgrößen und/oder externen nicht-lenkbaren Umfeldgrößen. Wird ein Szenariofeld ausschließlich durch externe Umfeldfaktoren beschrieben, so werden Umfeldszenarien erstellt. Sie sind nicht durch den Szenarioanwender beeinflussbar und beschreiben das Umfeld des Gestaltungsfeldes. Werden nur interne Lenkungsgrößen zur Beschreibung des Szenariofeldes verwendet, so wird von Gestaltungsfeld-Szenarien gesprochen. Diese sind vom Szenarioanwender beeinflussbar. Werden sowohl lenkbare als auch nicht-lenkbare Größen zur Beschreibung des Szenariofeldes herangezogen, so wird von Systemszenarien gesprochen. Szenarien dieser Art können teilweise durch den Szenarioanwender beeinflusst werden, sind aber aufgrund ihrer externen Umfeldgrößen nur schwer abschätzbar. Indem zwischen Gestaltungsfeld, Szenariofeld und Art der Planung unterschieden wird, ergeben sich maximal 24 unterschiedliche Szenarien.

Der dritte Teil der Projektbeschreibung umfasst die Bestimmung der Arbeitspakete, die Termin- und Kostenplanung, die Zuordnung von Personalkapazitäten sowie den Einsatz einer passenden Szenario-Software. Es ist anzumerken, dass es sich hierbei um planerische Aspekte zur Erstellung von Szenarien im Unternehmenskontext handelt. Eine Planung in einem rein wissenschaftlichen Kontext könnte beispielsweise um die Zuordnung der Personalkapazität oder die Termin- und Kostenplanung reduziert werden.

Gestaltungsfeld-Analyse

Die Analyse des Gestaltungsfeldes bringt in Hinblick auf die fünfte Phase der Szenario-Technik mögliche Gestaltungsfeldkomponenten (GFK) hervor. GFK sind Komponenten eines betrachteten Gestaltungsfeldes, und werden vor dem Hintergrund möglicher Szenarien einzeln betrachtet. GFK beschreiben das Gestaltungsfeld in seinem jetzigen Zustand. Zukünftige Ereignisse, die zu einer Umstrukturierung des Gestaltungsfeldes führen, werden dementsprechend nicht beachtet. Ein weiterer Bestandteil der Gestaltungsfeld-Analyse ist die Stärken- und Schwächen-Analyse der ermittelten GFK. Da Gausemeier u. a. (1995) hier einen Fokus auf die Unternehmensperspektive legen, wird die Stärken- und Schwächen-Analyse oder auch die Portfolio-Analyse zur weitergehenden Betrachtung der GFK empfohlen, da sich das Unternehmen hier im Vergleich zum Umfeld positionieren kann. Da beide Methoden im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht relevant sind, wird an dieser Stelle auf die Erläuterung verzichtet.

5.4.3 Szenariofeld-Analyse

Die Szenariofeld-Analyse bildet zusammen mit den folgenden beiden Unterkapiteln Szenario-Prognostik und Szenario-Bildung die drei Phasen der Szenario-Erstellung. Innerhalb der Szenariofeld-Analyse wird in die Bildung von Einflussbereichen, die Bildung von Einflussfaktoren und die Entwicklung von Schlüsselfaktoren unterschieden.

Bildung von Einflussbereichen

Die Bildung von Einflussbereichen ist abhängig vom Szenariofeld und ist die Voraussetzung zur Identifikation von Einflussfaktoren. Zur Erstellung der Einflussbereiche empfiehlt Gausemeier die Entwicklung einer Systemhierarchie. Dabei stellt das Szenariofeld das übergeordnete (globale) System dar, welches aus Subsystemen besteht, die wiederum aus weiteren Subsystemen zusammengesetzt sind. Die unterschiedlichen Subsysteme können dann in Lenkungs- sowie in Umfeld-Systeme eingeteilt werden. Subsysteme, die Teil mehrerer übergeordneter Systeme sind, können als Indikator für relevante Einflussbereiche gesehen werden. Eine Visualisierung der Systemhierarchie als Systembild kann die verschiedenen Subsysteme in strukturierter Form wiedergeben (vgl. **Abbildung 6.3**).

Bildung von Einflussfaktoren

Nachdem die Einflussbereiche des Szenariofeldes identifiziert wurden, können mithilfe dreier Schritte die Einflussfaktoren der Einflussbereiche bestimmt werden. Im ersten Schritt werden mögliche Faktoren ermittelt, wobei hier bewusst auf eine zu starke Vorauswahl verzichtet wird. Diese Faktoren werden im zweiten Schritt beschrieben, wobei hier darauf zu achten ist, dass diese Beschreibung wertneutral erfolgt, da somit nachfolgende Zukunftsprojektionen nicht richtungsgebunden sind. Im dritten Schritt werden die identifizierten Faktoren ausschließlich nach den identifizierten Haupteinflussbereichen aufgeteilt.

Zur Ermittlung der Einflussfaktoren (Schritt 1) präsentieren Gausemeier u. a. (1995) diskursive, intuitive und weitere Verfahren. Mithilfe diskursiver Verfahren lassen sich Einflussfaktoren durch logische Zusammenhänge ermitteln. Dazu zählen Methoden wie das „Cognitive Mapping“, System-Skizzen aber auch die systemische Ermittlung von Einflussfaktoren. Intuitive Verfahren hingegen ermöglichen es, Einflussfaktoren mittels kreativer Methoden zu ermitteln. Dazu zählen unter anderem Brainstorming, Syntectics, Methode 6-3-5 und Expertenbefragungen. Ebenso können Einflussfaktoren mittels Checklisten, eigenen Literaturrecherchen sowie aus Datensammlungen bereits existierender ähnlicher Szenarioanalysen abgeleitet werden.

Entwicklung von Schlüsselfaktoren

Nachdem die Einflussfaktoren im vorangegangenen Schritt bestimmt wurden, werden in diesem Schritt aus dieser Menge die Schlüsselfaktoren identifiziert. Dies ist aus mehreren Gründen wichtig. Erstens werden somit für die Szenarien die wichtigsten treibenden Kräfte identifiziert. Zweitens wird die Komplexität der Prognostik reduziert, sodass die Szenarien nicht durch unwichtige Faktoren verfälscht werden. Drittens wird bei der Auswahl der Schlüsselfaktoren darauf geachtet, die Relevanz der Szenarien für das Gestaltungsfeld hoch zu halten. Da diese Ableitung erfolgskritisch ist, wird sie hier ausführlich vorgestellt.

Damit die wesentlichen Einflussfaktoren gewählt werden können, werden diese in einen qualitativen Zusammenhang gesetzt. Mithilfe einer Einflussanalyse und einer anschließenden Ähnlichkeitsanalyse, bei der ähnliche Einflussfaktoren in eine neue Faktorenbezeichnung überführt werden, können in Abhängigkeit der zu erstellenden Szenarien (charakterisiert

durch Gestaltungsfeld, Szenariofeld und Art der Planung) Schlüsselfaktoren abgeleitet werden. Die Einflussanalyse kann mittels Interdependenz- oder mittels Wirkungsanalyse erfolgen. Letztere wird hauptsächlich für Szenarien verwendet, in denen ein stärkerer Fokus auf internen Lenkungsgrößen liegt. Für Szenarien, die das gesamte Szenariofeld beschreiben wird eine Interdependenzanalyse empfohlen.

Bewertungsmaßstab: 0 = kein Einfluss 1 = schwacher, verzögerter Einfluss 2 = mittlerer Einfluss 3 = starker, unmittelbarer Einfluss	Einflussfaktor 1	Einflussfaktor 2	Einflussfaktor 3	:	:	Einflussfaktor n	Aktivsumme
Einflussfaktor 1		1	1	2	2	1	7
Einflussfaktor 2	1		0	2	3	0	6
Einflussfaktor 3	1	1		1	2	1	6
...	2	2	3		3	3	13
...	2	3	1	2		0	8
Einflussfaktor n	1	1	2	2	1		7
Passivsumme	7	8	7	9	11	5	(47)

Abbildung 5.8 Einflussmatrix

Dazu werden alle ermittelten Lenkungs- und Umfeldfaktoren in einer Matrix gegenübergestellt und ihre gegenseitige Beeinflussung bewertet. **Abbildung 5.8** zeigt eine beispielhafte Einflussmatrix. Dabei wird die Frage gestellt „Wie stark beeinflusst Einflussfaktor A (Zeile) Einflussfaktor B (Spalte)?“.

Mithilfe der Interdependenzanalyse kann jedem Einflussfaktor eine Aktiv- und eine Passivsumme zugeordnet werden. Diese lassen eine Aussage über den relativen Charakter des Einflussfaktors im Faktorensystem zu. Eine hohe Aktivsumme bedeutet, dass der Einflussfaktor einen hohen Einfluss auf andere Faktoren ausübt, wohingegen eine hohe Passivsumme eine hohe Beeinflussbarkeit durch andere Faktoren aufweist. Ein Einflussfaktor mit einer hohen Aktiv- sowie Passivsumme ist ein äußerst dynamischer Einflussfaktor und somit kritisch für das Faktorensystem.

Weitere Kennwerte sind der Impuls-Index (IPI) und der Dynamik-Index (DI). Der IPI ist der Quotient aus der Aktiv- und Passivsumme eines Einflussfaktors. Der DI hingegen ist das Produkt aus der Aktiv- und Passivsumme eines Einflussfaktors. Ein hoher IPI steht für eine impulsive Größe, wohingegen ein geringer IPI eine reaktive Größe darstellt. Ein hoher DI lässt auf einen stark in das System integrierten Einflussfaktor schließen. Hingegen handelt es sich bei einem Einflussfaktor mit einem geringen DI um einen puffernden und im Vergleich zu den anderen Einflussfaktoren weniger relevanten Einflussfaktor.

Auf Grundlage dieser Kennzahlen lässt sich ein System-Grid (Koordinatensystem auf Basis der Aktiv- und Passivsummen) und im weiteren Schritt ein erweitertes System-Grid (Koordinatensystem auf Basis der Aktiv- und Passivsummen, IPI und DI) darstellen. Für kleinere Sze-

narien genügt in der Regel die Darstellung der Einflussfaktoren in einem einfachen System-Grid. Für größere Szenarien eignet sich im Allgemeinen das erweiterte System-Grid, da es eine tiefergehende Analyse ermöglicht. In **Kapitel 6.3.3** wird ein erweitertes System-Grid aufgestellt.

Die Einflussfaktoren können anhand des erweiterten System-Grids in fünf Bereiche unterteilt werden:

1. Der **impulsive Bereich** steht für Einflussfaktoren mit überdurchschnittlicher Aktivsumme und hohem IPI ($AS \geq \emptyset AS \wedge IPI \geq 2$). Solche Faktoren besitzen eine hohe Hebelwirkung durch ihren Einfluss auf das System.
2. Der **dynamische Bereich** steht für Einflussfaktoren mit überdurchschnittlicher Aktiv- sowie Passivsumme, hohem DI und mittlerem IPI ($AS \geq \emptyset AS \wedge PS \geq \emptyset PS \wedge DI \geq [P * \emptyset AS] \wedge 0,5 < IPI < 2$). Der Punkt P bildet den Schnittpunkt zwischen der unteren IPI-Geraden und dem Durchschnittswert aller Aktivsummen. Diese Faktoren sind mit Vorsicht zu betrachten, da sie als Hebel zur Veränderung einer festgefahrenen Situation verwendet werden können, aber schnell das gesamte System unkontrolliert beeinflussen können.
3. Der **reaktive Bereich** steht für Einflussfaktoren mit überdurchschnittlicher Passivsumme und geringem IPI ($PS \geq \emptyset PS \wedge IPI \leq 2$). Solche Faktoren sind gute Indikatoren für Systemveränderungen, da sie selbst wenig Einfluss nehmen.
4. Der **puffernde Bereich** steht für Einflussfaktoren mit unterdurchschnittlicher Aktiv- und Passivsumme und geringem DI ($AS \leq \emptyset AS \wedge PS \leq \emptyset PS \wedge DI \leq [A * \emptyset PS]$). Der Punkt A bildet den Schnittpunkt zwischen der unteren IPI-Geraden und dem Durchschnittswert aller Passivwerte. Bei diesen Faktoren lassen sich Systemveränderungen erst recht spät erkennen. Puffernde Faktoren sind eher vernachlässigbare Einflussfaktoren.
5. Der **neutrale Bereich** steht für Einflussfaktoren mit durchschnittlicher Aktiv- und Passivsumme und mittlerem IPI ($[A * \emptyset PS] < DI < [P * \emptyset AS] \wedge 0,5 < IPI < 2$). Faktoren in diesem Bereich sind stabil und werden bei der Auswahl von Schlüsselfaktoren als zusätzliche Faktoren in Abhängigkeit der Szenarien gewählt um diese detaillierter zu repräsentieren.

Nachdem alle Aktiv- und Passivsummen aller Faktoren berechnet wurden, kann eine Ähnlichkeitsanalyse durchgeführt werden. Diese ermöglicht es, Faktoren mit unterschiedlicher Bezeichnung, aber gleichem oder stark ähnelndem Beeinflussungscharakter, auf ihre Gleichartigkeit zu überprüfen sowie gegebenenfalls zusammenzuführen und neu zu bezeichnen. Um den Ähnlichkeitswert zweier Einflussfaktoren zu ermitteln, wird die Summe aller quadrierten Differenzen der Aktiv- und Passivbewertungen zweier Einflussfaktoren ermittelt. Die damit ermittelten Distanzwerte können anschließend in einer Tabelle aufsteigend sortiert werden. Geringe Distanzwerte deuten auf ähnliche Einflussfaktoren hin und werden nochmals qualitativ auf Einflussfaktoren-Substitution überprüft. Haben sich Einflussfaktoren verändert, so wird die Interdependenzanalyse noch einmal durchgeführt. Anschließend erfolgt

eine erneute Ähnlichkeitsanalyse. Dieser iterative Vorgang wird solange durchgeführt, bis keine Einflussfaktoren-Substitution mehr erfolgt.

Auf Basis der Interdependenz- und Ähnlichkeitsanalyse können nun die Schlüsselfaktoren in Abhängigkeit des Szenariocharakters ausgewählt werden. Hierbei werden die Kennzahlen aus der Einflussanalyse herangezogen. Demnach können Schlüsselfaktoren nach abnehmendem IPI, Aktivität, DI oder Passivität gewählt werden.

Gausemeier u. a. (1995) unterscheiden in diesem Zusammenhang nach Umfeld und System-szenarien. Werden langfristige Umfeldszenarien erstellt, so werden Schlüsselfaktoren nach abnehmender Aktivsumme gewählt. Bei mittelfristigen Szenarien hat die Abbildung der Systemdynamik oberste Priorität, weshalb hier die Auswahl nach abnehmendem DI empfohlen wird. Bei kurzfristigen Umfeldszenarien steht die exakte Beschreibung des Umfelds im Vordergrund. Auswahlkriterium ist in diesem Fall eine abnehmende Passivsumme, da dies als guter Indikator für die Veränderlichkeit eines Systems gilt. Werden Systemszenarien generiert, so ist hier bei risikomeidenden Szenarien die Auswahl nach abnehmendem IPI zu bevorzugen. Bei risikosuchenden Systemszenarien empfiehlt sich hingegen ein abnehmender DI. Bei normalen Systemszenarien erfolgt die Auswahl nach abnehmenden Aktivsummen.

Es sei angemerkt, dass die Wahl eines Auswahlkriteriums lediglich eine Hilfestellung bei der Schlüsselfaktorenwahl bietet. Die Möglichkeit einer zusätzlichen manuellen Hinzugabe weiterer, nicht in das Auswahlschema fallender Schlüsselfaktoren ist zu berücksichtigen. Eine weitere grobe Einschränkung bei der Wahl der Schlüsselfaktoren kann der prozentuale Systemwert sein. Demnach sollten alle Schlüsselfaktoren ungefähr 70% der gesamten Systemdynamik darstellen. Das Ergebnis am Ende der Szenariofeld-Analyse stellt einen fertigen Schlüsselfaktoren-Katalog dar.

5.4.4 Szenario-Prognostik

Erstellung des Projektionskatalogs

Die Szenario-Prognostik bildet die Basis für die Qualität der späteren Szenarien. In dieser Phase werden die Schlüsselfaktoren anhand einzelner Merkmale beschrieben sowie Zukunftsprojektionen entwickelt. Das Ergebnis der Prognostik ist ein Projektionskatalog mit allen möglichen Schlüsselfaktorprojektionen. Bevor jedoch die Schlüsselfaktoren fortgeschrieben werden können, sind die inhaltliche Ausrichtung der Projektionen, die Zuordnung von Wahrscheinlichkeiten sowie der Zeithorizont der Projektionen festzulegen. Unter der inhaltlichen Ausrichtung werden Extrem- oder Trendprojektionen verstanden. Extremprojektionen beschreiben dabei eher unwahrscheinliche, dafür aber dramatische und überzeichnete mögliche Entwicklungspfade. Sie befinden sich am äußeren Bereich des Zukunftshorizonts. Trendprojektionen hingegen zeichnen wahrscheinlichere und plausiblere Zukunftsbilder. Sie befinden sich im inneren Bereich des Zukunftshorizonts und haben im Gegensatz zu Extremprojektionen eine höhere Akzeptanz. Die Frage, ob den Projektionen Eintrittswahrscheinlichkeit zugeordnet werden, hängt unter anderem auch davon ab, ob es sich um Trend- oder Extremprojektionen handelt. Der Vorteil bei der Angabe von Wahrscheinlichkeiten liegt darin begründet, dass Szenario-Anwender wahrscheinliche Szenarien von weniger

wahrscheinlichen und damit weniger relevanten unterscheiden können. Handelt es sich beispielsweise um Extremszenarien, so ist die Angabe einer Wahrscheinlichkeit kontraproduktiv, da Extremprojektionen jeweils die Darstellung des Möglichen sind und somit eine andere Zweckmäßigkeit verbunden wird. Die Zuteilung von Wahrscheinlichkeiten und weiteren Werten, bspw. dem Einfluss oder die Erwünschtheit eines Ereignisses, ist bereits eine mögliche Methode zur Szenariengenerierung (vgl. von der Gracht und Darkow 2010). Ebenso hängt die Zuordnung von Eintrittswahrscheinlichkeiten von dem betrachteten Zeithorizont ab. Kurzfristige Projektionen sind leichter einschätzbar als langfristige, weswegen sie in der Regel stabiler sind.

Die im Anschluss entwickelten Projektionen müssen auch bestimmten Gütekriterien gerecht werden. Dazu zählen die Glaubwürdigkeit, die Unterschiedlichkeit, die Vollständigkeit, die Relevanz und der Informationsgehalt. Das Gütekriterium Glaubwürdigkeit steht für nachvollziehbare Projektionen. Unwahrscheinliche oder extreme Entwicklungen müssen zumindest innerhalb der Projektion plausibilisiert werden. Die Unterschiedlichkeit sorgt dafür, dass es sich um verschiedene klar voneinander unterscheidende Projektionen handelt. Die Vollständigkeit beschreibt, dass Projektionen in der Darstellung der zukünftigen Entwicklungen möglichst alle relevanten Einflüsse berücksichtigen. Hier ist auch vor dem Hintergrund des Zeithorizontes zu überprüfen, ob die unterschiedlichen Projektionen eines Schlüsselfaktors nicht zu engmaschig, sondern im Gegenteil eher ausladend entwickelt werden. Die Relevanz sorgt dafür, dass die entwickelten Projektionen eine gute Basis für die späteren Szenarien bilden, indem sie relevante Einflüsse für das spätere Gestaltungsfeld darstellen. Letztendlich ist auch der Informationsgehalt für die Akzeptanz einer Projektion wesentlich. Darunter ist die wissenschaftliche Anreicherung der Projektionen durch Daten und Fakten zu verstehen. Es wird empfohlen unterschiedliche Quellen heranzuziehen.

Aufbereitung der Schlüsselfaktoren

Bei der Aufbereitung der Schlüsselfaktoren geht es darum, jedem Schlüsselfaktor ein oder mehrere Merkmale zuzuordnen, anhand derer sowohl der Ist-Zustand als auch die zukünftige Entwicklung des Schlüsselfaktors dargestellt werden kann. Dieser Schritt ist notwendig, da die Zukunftsprojektionen andernfalls keinen festen Bezugspunkt besäßen und schnell wahllos und willkürlich wirken würden. Nachdem die Merkmale bestimmt wurden, wird der Schlüsselfaktor allgemein und dann beziehend auf die Merkmale in seinem Ist-Zustand beschrieben.

Bildung der Zukunftsprojektionen

Nachdem der Ist-Zustand eines Schlüsselfaktors dargestellt wurde, können auf dieser Basis die Projektionen erstellt werden. Unter Berücksichtigung der fünf Gütekriterien sowie der inhaltlichen Ausrichtung (Trend- oder Extrempjektion?), des zeitlichen Horizonts (kurz-, mittel- oder langfristige Projektionen?) und die anvisierte Plausibilität (Eintrittswahrscheinlichkeit vorgesehen?) geht es jetzt darum, mögliche Entwicklungen vorzustellen und zu begründen.

Die Entwicklung von Projektionen erfolgt anhand eines vierstufigen Verfahrens. In dem ersten Schritt werden mögliche prägnante Projektionen für den Schlüsselfaktor entwickelt. Diese können geradlinig ausgehend vom Schlüsselfaktorenmerkmal fortgeschrieben werden. Ebenso können Projektionen durch Entwicklungen überzeichnet oder anhand bestimmter Entscheidungspunkte charakterisiert werden. Das bewusste Beschleunigen von Entwicklungen oder das bewusste Einbeziehen bestimmter Umfeldentwicklungen können bei der Formulierung der Projektionen hilfreich sein und zusätzliche Impulse bieten. Auch möglich ist das Entwickeln von Projektionen auf Basis einer Ereigniskette. Im zweiten Schritt erfolgt die Auswahl der jeweiligen Projektionen. Wird nur eine Projektion für einen Schlüsselfaktor gewählt, so handelt es sich bei diesem Schlüsselfaktor um einen unkritischen Faktor. Werden mehr als eine Projektion (maximal drei) gewählt, so handelt es sich um kritische Schlüsselfaktoren. Werden Extrempjektionen entwickelt, ist darauf zu achten, dass diese den gesamten Zukunftsraum abdecken. Werden hingegen Trendprojektionen erstellt, so werden wahrscheinliche und plausible Projektionen erstellt. Sofern sinnvoll und vorab entschieden, können dann im dritten Schritt Wahrscheinlichkeiten vergeben werden. Zu beachten ist, dass bei Trendprojektionen die Summe aller Wahrscheinlichkeiten je Schlüsselfaktor genau eins ergibt. Wie oben beschrieben, ist die Vergabe von Wahrscheinlichkeitswerten bei Extrempjektionen eher unüblich. Im letzten Schritt werden die Zukunftsprojektionen ausformuliert.

5.4.5 Szenario-Bildung

In der vierten Phase geht es darum, Szenarien auf Basis der Schlüsselfaktorenprojektionen zu erstellen. Jedes entwickelte Szenario besitzt dabei genau eine Schlüsselfaktorenprojektion eines jeden Schlüsselfaktors. Die vier Phasen der Szenario-Bildung sind die Projektionsbündelung, die Rohszenarien-Bildung, das Zukunftsraum-Mapping sowie die Szenario-Beschreibung. Auf die Darstellung des Zukunftsraum-Mapping wird jedoch verzichtet, da dieses Unterkapitel lediglich die graphische Darstellung der Projektionsbündel zueinander thematisiert und insofern keinen Mehrwert bei der Szenario-Bildung aufweist.

Projektionsbündelung

Bei der Projektionsbündelung geht es um die Kombination zueinander passender Projektionen. Die kritischen Gütekriterien sind die Konsistenz und die Plausibilität der Projektionen zueinander. Gausemeier u. a. (1995) unterteilen die Projektionsbündelung in die Konsistenz-, Plausibilitätsanalyse und Projektionsbündel-Reduktion. Das Ergebnis ist ein Projektionsbündel-Katalog mit allen relevanten Projektionsbündeln. Für die Konsistenzanalyse ist eine paarweise Bewertung zweier Projektionen unterschiedlicher Schlüsselfaktoren zueinander vorzunehmen. Die Bewertungsskala variiert hier je nach verwendeter Szenariosoftware. Das Bewertungsspektrum kann beispielsweise zwischen totaler Inkonsistenz (= 1) und sehr starker gegenseitiger Unterstützung (= 5) liegen. Eine „friedliche“ Koexistenz zweier Projektionen innerhalb eines Szenarios kann hingegen mit „3“ bewertet werden. Ähnlich wie bei der Einflussanalyse, erfolgt die paarweise Bewertung in einer Konsistenzmatrix. Da es sich nicht um gerichtete Bewertungen handelt, werden im Gegensatz zur Einflussanalyse nur die Hälfte

aller möglichen Bewertungen vorgenommen. Nach erfolgter Konsistenzanalyse mittels Szenariosoftware ist das Ergebnis ein vorläufiger Projektionsbündel-Katalog.

Falls mit Eintrittswahrscheinlichkeiten gearbeitet wurde, kann noch eine Plausibilitätsanalyse vollzogen werden. Auf die Darstellung wird hier jedoch verzichtet, da den aufzustellenden langfristigen Trendprojektionen in **Kapitel 6** keine Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden. Dadurch kann direkt zur Projektionsbündel-Reduktion übergegangen werden. Die Projektionsbündel können nun über den Konsistenzwert, die Anzahl partieller Inkonsistenzen oder über Repräsentanten reduziert werden. Bei allen Möglichkeiten geht es darum, relevante von inkonsistenten Projektionsbündeln zu trennen.

Rohszenarien-Bildung

Im Zuge der Rohszenarien-Bildung gibt es zwei Ansätze, aus der Fülle an Projektionsbündeln, die im vorherigen Schritt erstellt wurden, zu wählen. Einerseits können Projektionsbündel nach festgelegten Kriterien gewählt werden. Andererseits können die Projektionsbündel zu Ähnlichkeitsgruppen (Clustern) zusammengeführt werden. Die Clusteranalyse bietet eine gute Möglichkeit, wenn alle Projektionsbündel bei der Auswahl von Rohszenarien berücksichtigt werden. Vor dem Hintergrund dieser Arbeit wird aber auf die Clusteranalyse verzichtet, da stattdessen spezifische Auswahlkriterien bei der Wahl bestimmter Projektionsbündel vorgezogen werden.

Weiterhin ist zu klären, wie viele Szenarien benötigt werden. Eine zu große Anzahl von Szenarien erhöht die Gefahr der mangelnden Unterscheidbarkeit der Szenarien. Werden hingegen zu wenig Szenarien gebildet, so kann es passieren, dass wesentliche Einflüsse nicht berücksichtigt oder andere mögliche oder wahrscheinliche Szenarien nicht gebildet werden und die Szenarioanalyse somit unvollständig sein wird. Schnaars (1987) untersuchte verschiedene Szenarioansätze und kam unter anderem zu dem Schluss, dass drei Szenarien die bevorzugte und optimale Anzahl an aufzustellenden Szenarien sind (vgl. Anhang C).

Ist die Szenarioanzahl festgelegt worden, stellt sich die weitere Frage nach der Szenariozeichnung. Ein prägnanter Szenariotitel weist den Leser auf den Kern des Szenarios hin und ermöglicht eine schnellere Verknüpfung der Szenarioinhalte mit dem Szenariotitel. Einer der bekanntesten Persönlichkeiten in der Werbebranche brachte es in folgender Aussprache auf den Punkt: „Die Überschrift ist der wichtigste Teil einer Anzeige. Sie ist das Telegramm, das den Leser dazu bringt, den Text überhaupt zu lesen. Von fünf Personen lesen durchschnittlich vier nur die Überschrift, während nur einer den ganzen Text liest. [...] Die schändlichste aller Sünden ist eine Anzeige ohne Überschrift. Solche kopflosen Ungetüme gibt es noch immer. Der Texter allerdings, der es wagen würde, mir so etwas vorzulegen, wäre nicht zu beneiden. Ein Austauschen der Schlagzeile kann eine Veränderung der Verkäufe im Verhältnis 10:1 zur Folge haben. Ich schreibe nie weniger als 16 verschiedene Schlagzeilen für eine Anzeige.“ (Ogilvy 1991, S.145)

In der Arbeit von Pulver und Van Deveer (2007) wird ein ausführlicher Katalog von internationalen umweltorientierten Szenarioanalysen präsentiert (vgl. Anhang D). Es fällt auf, dass die Szenariotitel eher kurz sind. Sie bestehen durchschnittlich aus zwei Wörtern. Bis auf be-

stimmte Titel (z. B. market first, policy first, security first, sustainability first) sind die Bezeichnungen nur schwer zu deuten (z. B. FROG1, GEOpolity, Jazz). Das führt zu der nächsten Annahme, dass Szenariotitel im Kontext betrachtet werden.

Dator (1979) schlägt vier Archetypen von Szenariotiteln vor:

1. Continued Growth
2. Collapse
3. Steady State
4. Transformation

Demnach wird ein Szenario *Wachstum*, ein anderes Szenario *Niedergang*, ein drittes Szenario *Stillstand* und ein viertes Szenario einen nicht oder nur schwer abzusehenden *Wandel* beinhalten. Hierbei ist jedoch das Szenario des Wandels schwierig zu deuten, da alle anderen Szenariobezeichnungen auch eine Art Wandel in sich bergen. Hieraus wird erkennbar, dass ein Szenariotitel bereits auf den Inhalt des Szenarios verweist und ausreichend viele Informationen bietet, sodass der Inhalt in groben Zügen durch den Titel erkennbar wird.

Szenario-Beschreibung

In dieser letzten Phase der Szenario-Bildung findet die Interpretation statt. Wenn im Vorfeld Projektionsbündel auf Basis von festen Auswahlkriterien gewählt wurden, dann kann sofort mit der Formulierung der Szenarien begonnen werden. Wurden die Projektionsbündel mittels Clusteranalyse oder anderweitigen quantitativen Methoden im Zuge des Zukunftsraum-Mappings zusammengeführt, so werden nun Ausprägungslisten der einzelnen Rohszenariobündel erstellt. Auf Basis dieser Ausprägungslisten eines jeden Rohszenariobündels werden die Szenarien anschließend in Prosa beschrieben. Dadurch entsteht ein anschauliches Zukunftsbild, das dem Szenarioanwender plausibler und greifbarer erscheint.

Bei der Formulierung der Szenarien ist auch über den Umfang der Szenarien zu entscheiden. Je nach Größe des Szenario-Projekts können mehrseitige Szenarien sinnvoll erscheinen. Ebenso können Szenarien mit wenigen Absätzen auskommen. In beiden Fällen erscheint an geeigneter Stelle im Szenario der Verweis auf die betreffende Projektion zweckmäßig. Bei langen Szenarien werden zusätzliche Zusammenfassungen empfohlen.

5.4.6 Szenario-Transfer

Die ermittelten Szenarien werden nun auf die in der Szenario-Vorbereitung ermittelten Gestaltungsfelder übertragen. Dieser Prozess wird Szenario-Transfer genannt. Gausemeier u. a. (1995) unterteilen diesen Prozess in die drei Unterpunkte Auswirkungsanalyse, Eventualplanung sowie Robustplanung um zukunftsfähige Pläne und Strategien zu entwickeln. Sie unterscheiden dabei die Entwicklung von zukunftsrobusten Unternehmensleitbildern, Unternehmensstrategien, Unternehmensorganisation und Technologieauswahl für zukünftige Produktentwicklungen. Vor dem Hintergrund der Forschungsfragen dieser Arbeit, wird ein verstärkter Fokus auf die Auswirkungsanalyse gelegt. Es findet eine kurze Darstellung der Eventual- und Robustplanung statt.

Auswirkungsanalyse

Zum einen kann die Auswirkungsanalyse mittels Auswirkungsmatrix erfolgen, wobei die Szenarien direkt auf die Gestaltungsfelder und ihre Komponenten bezogen werden. Dieses Vorgehen empfiehlt sich besonders bei Umfeldszenarien. Zum anderen können durch sogenannte Zukunftskonferenzen, bei denen Mitarbeiter sich im Unternehmen mit den Szenarien auseinandersetzen, die Entwicklung möglicher Chancen und Risiken für das Unternehmen fördern. Auf die erschöpfende Darstellung solcher Zukunftskonferenzen wird allerdings verzichtet. Gleichwohl wird die Auswirkungsanalyse mittels Auswirkungsmatrix, da später angewendet, vorgestellt.

Das Prinzip der Auswirkungsmatrix ist es, die ermittelten Gestaltungsfelder und deren Komponenten vor dem Hintergrund der entwickelten Szenarien zu betrachten. Wenn im Vorfeld Stärken und Schwächen einer Gestaltungsfeldkomponente aufgestellt wurden, so kann eine Komponentenstärke als Chance interpretiert werden, wenn das Szenario in diesem Bereich eine Veränderung aufweist. Hingegen kann es als Risiko interpretiert werden, wenn sich das Szenario in einem Bereich verändert, in dem die Komponente Schwächen aufweist. Um die Anwender-Akzeptanz zu erhöhen, empfehlen Gausemeier u. a. (1995) die Aufstellung eines anwenderorientierten Erwartungsszenarios. Die Anwender werden hierbei gebeten, ihre Vorstellungen der Schlüsselfaktorentwicklung kurz aufzuschreiben, sodass daraus ein Erwartungsszenario erstellt werden kann. Indem den Anwendern diese Möglichkeit gewährt wird, können sie sich besser mit Extremszenarien auseinandersetzen. Die Entwicklung von Erwartungsszenarien erübrigt sich allerdings, wenn ohnehin schon Trendszenarien erstellt wurden.

In **Tabelle 5.3** ist eine beispielhafte Auswirkungsmatrix zu sehen. Auf die Darstellung der Stärken-Schwächen Spalte wird verzichtet, da es sich bei dieser Arbeit nicht um eine Unternehmensperspektive handelt, die eine Stärken-Schwächen-Einschätzung bezüglich der Gestaltungsfeldkomponenten vorgenommen hat.

Tabelle 5.3 Auswirkungsanalyse (Legende: GFK = Gestaltungsfeldkomponente, AW = Auswirkung)

Gestaltungsfeld	Szenario j	Szenario j+1	...	Szenario k
GFK i	AW_i,j	AW_i,j+1	...	AW_i,k
GFK i+1	AW_i+1,j	AW_i+1,j+1	...	AW_i+1,k
...
GFK n	AW_n,j	AW_n,j+1	...	AW_n,k

In Anlehnung an das MITO-Modell wird die Auswirkungsanalyse für den späteren Szenario-Transfer angepasst. Das MITO-Modell beschreibt die „ganzheitliche prozessorientierte Organisationsentwicklung und outputorientierte Unternehmenssteuerung“ (Binner 2016, S. 9)

wobei **management-, input-, transformations- und outputbezogene** Gestaltungsfelder über ein Regelkreismodell miteinander in Beziehung gebracht werden. Für den Szenario-Transfer wird die differenzierte Portfoliomatrix-Auswertung verwendet (vgl. Binner 2016).

Die Portfoliomatrix-Auswertung ermöglicht die mehrdimensionale Darstellung der auf die unterschiedlichen Szenarien projizierten Gestaltungsfelder. Im Anschluss kann mittels übersichtlicher grafischer Darstellung in Abhängigkeit der gewählten Dimensionen die Auswirkungen von Szenarien auf die Gestaltungsfelder aufgezeigt, aber auch eine Priorisierung der Handlungsimplicationen abgeleitet werden. Zusätzlich kann auf Basis dieser Bewertungsmatrix der Fokus auch auf eine detaillierte Betrachtung der Gestaltungsfeldkomponenten gelegt werden. Dadurch können nicht nur die Szenarien mit der höchsten Auswirkung und Bedeutung vor dem Hintergrund der Gestaltungsfelder, sondern auch Gestaltungsfeldkomponenten mit dem höchsten Veränderungspotential, dargestellt werden.

Eventual- und Robustplanung

Während für die Entscheidungsvorbereitung lediglich die Auswirkungsanalyse im Vordergrund steht, ist für die weiterführende Maßnahmengestaltung und Planung die Eventual- und Robustplanung nötig. Die Eventualplanung leitet aus den identifizierten Chancen und Risiken aus der Auswirkungsanalyse mögliche Reaktiv- bzw. Präventivmaßnahmen ab. Diese Maßnahmen sind szenariospezifisch und können zu gesamten Eventualstrategien je Szenario zusammengefasst werden.

Da die identifizierten Maßnahmen zum Teil widersprüchlich sind, weil sie aus konträr gegenüberliegenden Szenarien heraus entwickelt wurden, werden die Maßnahmen bewertet, damit ein Maßnahmenpaket, das auf mehrere Szenarien zutrifft, entwickelt werden kann. Dieses Maßnahmenpaket wird auch als Robustplan bezeichnet. Die Zusammenführung der einzelnen Robustpläne für die jeweiligen Gestaltungsfeldkomponenten führt zu der Entwicklung einer zukunftsrobusten Strategie für das gesamte Gestaltungsfeld.

5.4.7 Validierung erstellter Szenarien

Amer u. a. (2013) präsentieren sieben Validierungskriterien für Szenarien (s. **Abbildung 5.9**). Die Größe der Kriterien zeigt ihre relative Bedeutung als Validierungskriterium für Szenarien. Je größer das Kriterium dargestellt ist, desto wichtiger ist dieses Kriterium.

Die Ergebnisse zeigen eine Ungleichverteilung der Validierungskriterien bezüglich ihrer Bedeutung. Interessanterweise wird die Wichtigkeit von Szenarien nur in Durance und Godet (2010) als Kriterium eingesetzt. Während die Wichtigkeit von Szenarien ein wesentliches Gütekriterium von Szenarien darstellt, scheint die reine Bewertung von Szenarien nach ihrer Bedeutung doch ein wenig zweckentfremdend. Denn die Idee von Szenarien ist es, mögliche Zukünfte aufzudecken, die ihre Bedeutung erst im Sinne der Aufdeckung erfahren. Deshalb scheint die Wichtigkeit ein umstrittener Punkt zu sein, der deshalb auch nur einmal genannt wird. Danach folgt mit drei Nennungen die Transparenz und mit fünf Nennungen die Vollständigkeit. Dieses Ergebnis ist damit zu begründen, dass Transparenz aus Sicht wissenschaftlicher Herangehensweise unabdingbar ist. Der Nutzen von Szenarien wäre nicht ge-

ben, wenn die Erstellung von Szenarien nicht nachvollziehbar wäre. Die Annahme ist, dass Transparenz bei den anderen Arbeiten vorausgesetzt wird (vgl. Durance und Godet 2010). Die Vollständigkeit ist ein Kriterium, welches nur schwierig erfüllt werden kann, da die Anzahl möglicher zukünftiger Ereignisse nicht von ihrer Vollständigkeit sondern von ihrer Relevanz für das System abhängt. Dies führt unweigerlich dazu, dass nicht alle das System beschreibenden Ereignisse aufgeführt werden können.

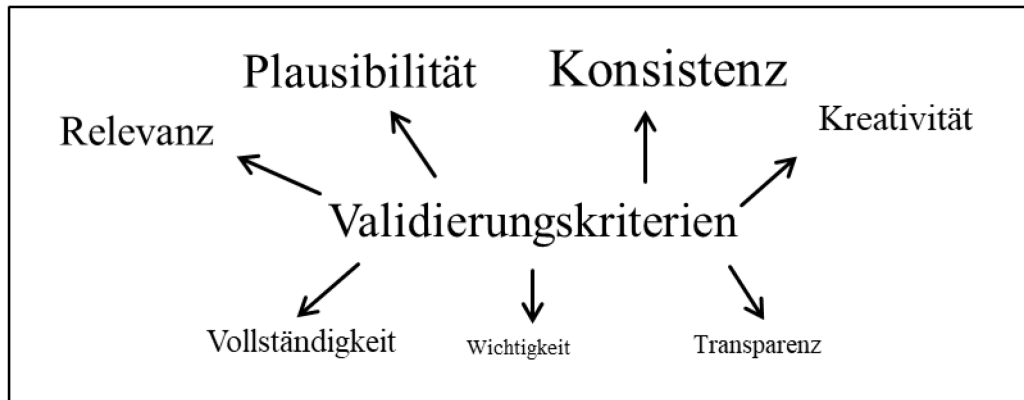


Abbildung 5.9 Validierungskriterien für Szenarien nach Amer u. a. (2013)

In aufsteigender Bedeutung der Kriterien folgen die Kreativität mit sechs Nennungen, die Relevanz mit acht Nennungen, die Plausibilität mit 14 Nennungen und die Konsistenz mit 15 Nennungen. Besonders die letzten beiden Punkte sind entscheidend, da sie über die Qualität der Szenarien entscheiden. Unterstützen sich die Ereignisse in einem Szenario, so ist von einem konsistenten Szenario auszugehen. Sind die Ereignisse zudem einleuchtend und verständlich, so ist das Szenario auch als plausibel zu bezeichnen. Allerdings wäre ein Szenario nicht wirklich interessant, wenn es keinen Nutzen hätte. Insofern ist das Kriterium der Relevanz ein ebenso wichtiges. Letztendlich sind auch die Kreativität und somit das Denken des „Unmöglichen“ oder „Unvorstellbaren“ ein wesentlicher Aspekt von Szenarien. Denn wenn Szenarien vorhersehbar wären, wäre es keine Zukunftsforschung mehr, sondern Zukunftsplanung oder das Aufzeichnen des deterministisch Vorhersehbaren.

Dieses Unterkapitel hatte zum Ziel, die Vorgehensweise bei der Erstellung einer Szenario-Methode ausführlich nach Gausemeier u. a. (1995) vorzustellen. Diese Methode wird im Folgenden dazu verwendet, mögliche Szenarien für ITS im Straßengüterverkehr aufzustellen. Dafür wird zunächst der methodische Arbeitsumfang der gesamten Szenarioanalyse in Form eines methodischen Steckbriefs dargestellt und anschließend anhand des 5-Phasenmodells (vgl. **Abbildung 5.7**) die Szenarioanalyse durchgeführt.

6 Szenarioanalyse: Entwicklung von ITS im Straßengüterverkehr

6.1 Methodischer Steckbrief

Die Szenarioanalyse in Bezug auf die Entwicklung von ITS im Straßengüterverkehr soll modellgestützt auf explorativem Weg nach der in **Kapitel 5.4** beschriebenen Methodik deskriptiv die Umfeldsituation im Jahr 2030 prognostizieren. Dabei wird von der bereits beschriebenen, aktuellen Umfeldsituation von Telematiksystemen für den Straßengüterverkehr ausgegangen. Die Abfolge der fünf Unterkapitel orientiert sich am Fünf-Phasen-Modell nach Gausemeier u. a. (1995). Für die Darstellungsart und Struktur der Ergebnisse der Szenarioanalyse wird das Vorgehen nach Arnold (2005) gewählt.

Die Ergebnisse für die erste Szenariophase (Vorbereitung) basieren auf der Literaturrecherche mit den Zielen ein Verständnis für die Bestandteile und Möglichkeiten von ITS aufzubauen sowie den aktuellen Stand der Forschung von ITS für den Straßengüterverkehr zu bestimmen. Zum Zwecke der besseren Übersicht wurden vier Bereiche zum ITS-Einsatz für den Straßengüterverkehr zusammengefasst: Flottenmanagement, Mautsysteme, fortgeschrittene Fahrerassistenzsysteme und City-Logistik. Es wurden insgesamt 58 wissenschaftliche Artikel aus den Jahren 1995-2017 als relevant identifiziert, anhand derer der aktuelle Stand der Forschung in diesen vier Kategorien dargestellt wurde. Für eine übersichtliche Darstellung der in dieser Szenarioanalyse verwendeten Methoden und der in den jeweiligen Szenariophasen ermittelten Ergebnisse wird auf **Abbildung 6.1** verwiesen.

Für die zweite und dritte Szenariophase (Analyse und Prognostik) wurde ein zweitägiger Workshop mit 15 Studenten aus dem Masterstudiengang BWL mit der Vertiefungsrichtung Logistik an der Universität Bremen durchgeführt. Dieser hatte zum Ziel, die Einflussbereiche, Einflussfaktoren und Schlüsselfaktoren, sowie mögliche Projektionen für die bereits ermittelten Schlüsselfaktoren zu erarbeiten. Für die Gewährleistung adäquater Ergebnisse wurden die Teilnehmer im Vorfeld instruiert, sich mit ihrem zugewiesenen Thema ausführlich auseinanderzusetzen. In Summe wurden 67 wissenschaftliche Forschungsbeiträge und 25 wissenschaftliche Bücher zur Ergebnisfindung eingebracht (s. Anhang E).

Zur Ermittlung der Schlüsselfaktoren wurden Einfluss- und Ähnlichkeitsanalysen durchgeführt. Für die Einflussanalyse wurden 462 Einflussfaktorenbeziehungen bewertet und diskutiert. Auf Basis der absteigenden Aktivsummen wurden dann Schlüsselfaktoren, die eine Gesamtdynamik von 75% für das betrachtete System einnehmen, gewählt.

Für die dritte Szenariophase (Prognostik) wurde jeder Schlüsselfaktor zunächst allgemein und daraufhin der Ist-Zustand beschrieben. Anhand der Ist-Zustände und Schlüsselfaktorenmerkmale wurden dann für jeden Schlüsselfaktor mögliche Projektionen für das Jahr 2030 entwickelt. Insgesamt ergaben sich dadurch zwölf allgemeine Beschreibungen, zwölf Beschreibungen der Ist-Zustände und 29 entwickelte Projektionen.

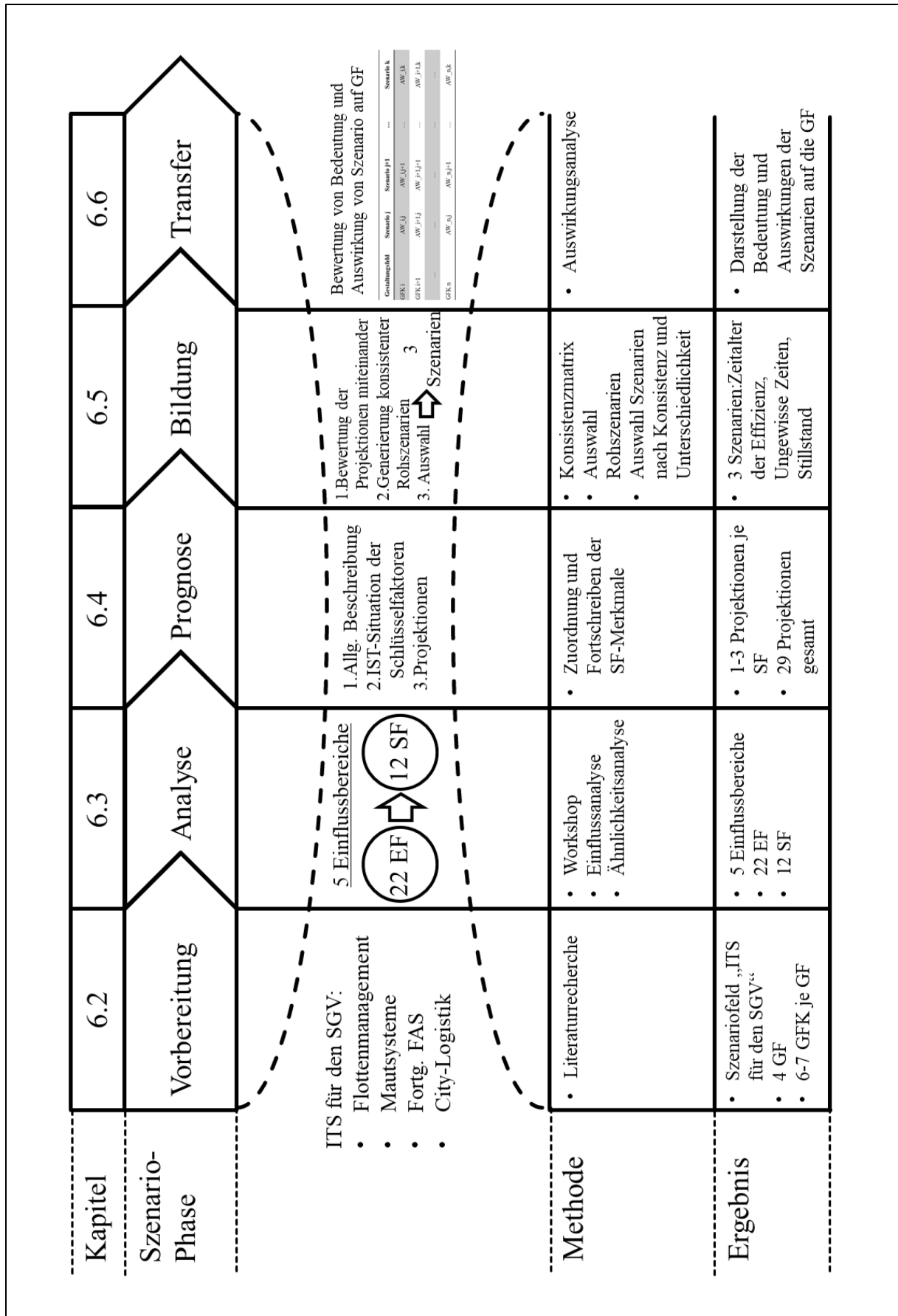


Abbildung 6.1 Ablauf, Methoden und Ergebnisse in Kap. 6 (Szenario-Management)

Für die vierte Szenariophase (Bildung) wurden anschließend die Schlüsselfaktorenprojektionen miteinander in Verbindung gesetzt, um ihre Verträglichkeit in einem Szenario zu ermitteln. Dafür wurden 355 gegenseitige Einflüsse von vier unterschiedlichen Teilnehmern bewertet und diskutiert. Die ermittelten Konsistenzwerte jeder Projektion wurden dann mit der Szenariosoftware INKA 3 zu konsistenten Projektionsbündeln zusammengefügt. Dafür werden von INKA 3 die Projektionen auf den Bündelungsprozess nach ihrer Einflussstärke sortiert und auf dieser Grundlage alle möglichen Kombinationen von Projektionen gebildet. Um die unterschiedlichen Outcomes bei der Zusammenwirkung der interagierenden Faktoren zu verdeutlichen, wurden exemplarisch das konsistenteste Projektionsbündel und zwei weitere sehr unterschiedliche Bündel im Vergleich zum ersten Bündel ausgewählt. Jedes Bündel wurde dann zu einem vollständigen Szenario ausformuliert.

Anschließend wurde in der fünften Szenariophase (Transfer) die Auswirkungsanalyse durchgeführt. Die in der ersten Szenariophase ermittelten 26 Gestaltungsfeldkomponenten wurden vor dem Hintergrund der drei oben beschriebenen Szenarien auf ihre Bedeutung und Auswirkung auf die Gestaltungsfeldkomponenten analysiert. Dafür wurden wiederum 156 Bewertungen durchgeführt und begründet. Auf Basis dieser Bewertungen wurde eine graphische Darstellung der Bedeutungen und Auswirkungen der Szenarien auf die vier Gestaltungsfelder für ITS im Straßengüterverkehr erstellt.

6.2 Vorbereitung für ITS-Szenarien für den Straßengüterverkehr

6.2.1 Bestimmung von Gestaltungsfeld und Szenariofeld

Der Erfolg des hier behandelten Szenarioprojektes ist abhängig von der korrekten Bestimmung des Gestaltungsfeldes, Szenariofeldes und der unterstützenden Szenariosoftware. Wenn einer dieser drei Bausteine eines erfolgreichen Projekteinstiegs nicht eindeutig oder leistungsstark ist, so sind alle weiteren Untersuchungen mit Fehlern behaftet. Unter Umständen wirkt sich eine kleine Ungenauigkeit in dieser ersten Phase dramatisch auf Ergebnisse in der fünften Phase aus. Deshalb ist hier (und selbstverständlich auch im weiteren Verlauf dieser Dissertation) höchste Vorsicht und Präzision gefordert. Die Unterscheidung in Gestaltungsfeld und Szenariofeld wurde bereits in **Kapitel 5.4** thematisiert und wird hier nun konkret dargestellt. Telematiksysteme für den Straßengüterverkehr ermöglichen eine effizientere Nutzung der gegebenen Straßeninfrastruktur. Durch den Einsatz von ITS können somit mehr Güter in gleicher Zeit transportiert werden. Das betrachtete Szenariofeld ist somit „ITS für den Straßengüterverkehr“.

Die Aufgliederung der unterschiedlichen Wirkgebiete telematischer Systeme hat eine Aufgliederung von ITS für den Straßengüterverkehr in vier Bereiche ergeben (vgl. **Kapitel 3.3**). Der erste Bereich repräsentiert Systeme für ein intelligentes Flottenmanagement. Diese haben zum Zweck, den Kommunikations- und Informationsweg zwischen der Leitzentrale und den jeweiligen Fahrern einfacher und effizienter zu gestalten. Das zweite Einsatzgebiet intelligenter Transportsysteme liegt in den unterschiedlichen fortgeschrittenen Fahrerassistenzsystemen. Dazu zählen beispielsweise die Systeme zum kollaborativen oder vernetzten Fahren. Das dritte Einsatzgebiet ist die Kostenallokation für Straßenschäden. Die Berechnung

der Mautgebühren wurde früher pauschal für die Benutzung bestimmter Straßenabschnitte erhoben oder über den Verkauf von Vignetten erhoben. Mittlerweile können durch intelligente Mautsysteme Kosten in Abhängigkeit der gefahrenen Straßenabschnitte und Tonnenkilometer pro Fahrzeug genau abgerechnet werden. Dies ermöglicht nicht nur eine gerechte Kostenallokation, sondern auch einen reibungslosen Transportablauf. Das letzte Gebiet für ITS bezieht sich auf den urbanen Verkehr, der sogenannten City-Logistik. Hier wird versucht, durch intelligente Lösungen den Verkehr zu verflüssigen, zu verlagern oder zu vermeiden. Dabei helfen auf herannahenden Güterverkehr reagierende intelligente Ampelschaltungen, als auch die Nutzung alternativer Transportmodi. Diese vier ermittelten Einsatzbereiche intelligenter Transportsysteme für den Straßengüterverkehr bilden die vier Gestaltungsfelder.

6.2.2 Unterstützung durch Szenariosoftware INKA 3

Die Generierung von konsistenten Szenarien auf Basis von unterschiedlichen Projektionen ist in der manuellen Durchführung sehr zeitaufwändig, weshalb hier eine Szenariosoftware zum Einsatz kam.

INKA 3 ist eine Szenariosoftware von der Unternehmensberatung Geschka GmbH mit Sitz in Darmstadt.⁹ Die Software ermöglicht es, im Rahmen der Szenariotechnik stimmige Projektionsbündel von Einflussfaktoren zu erstellen (vgl. Schwarz-Geschka 2010). Damit können dann im nächsten Schritt Szenarien erstellt und beschrieben werden.

In **Abbildung 6.2** ist der Startbildschirm der Szenariosoftware INKA 3 zu sehen. Der erste Reiter zeigt das *Untersuchungsfeld*. Hier werden die grundlegenden Startbedingungen wie Name und Beschreibung des Szenarioprojektes, sowie das Projektionsjahr festgelegt. Danach werden *Deskriptoren und ihre Ausprägungen* erfasst. **Kapitel 6.3** wird die einzelnen Einflussfaktoren (Deskriptoren) und deren Merkmale (Ausprägungen) beschreiben. Der dritte Reiter *Konsistenzmatrix* enthält eine Bewertungsmatrix, auf deren Basis die Konsistenzabschätzung aller Einflussfaktorenausprägungen erfolgt. Dieser Punkt wird in **Kapitel 6.4** dargestellt. Der nächste Reiter *Bündelung* zeigt die Anzahl unterschiedlicher Ausprägungen je Szenario, eine Übersicht über alle Ausprägungen je Szenario, sowie eine Auflistung aller konsistenten Szenarien. Im Reiter *Einzelvorschlag* können dann ganz bestimmte Ausprägungen in ein Szenario überführt werden. Unter *Projektinformationen* können formale Projektbeschreibungen wie Impressum und Protokolle aufgeführt werden. Der letzte Reiter *Report* ermöglicht es, alle projektbezogenen Daten, die in INKA 3 aufgezeichnet und verarbeitet wurden, in einer übersichtlichen Darstellung aufzuführen.

⁹ Mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Martin G. Möhrle konnte die Szenariosoftware INKA 3 am Institut für Projektmanagement und Innovation an der Universität Bremen für dieses Forschungsvorhaben verwendet werden.

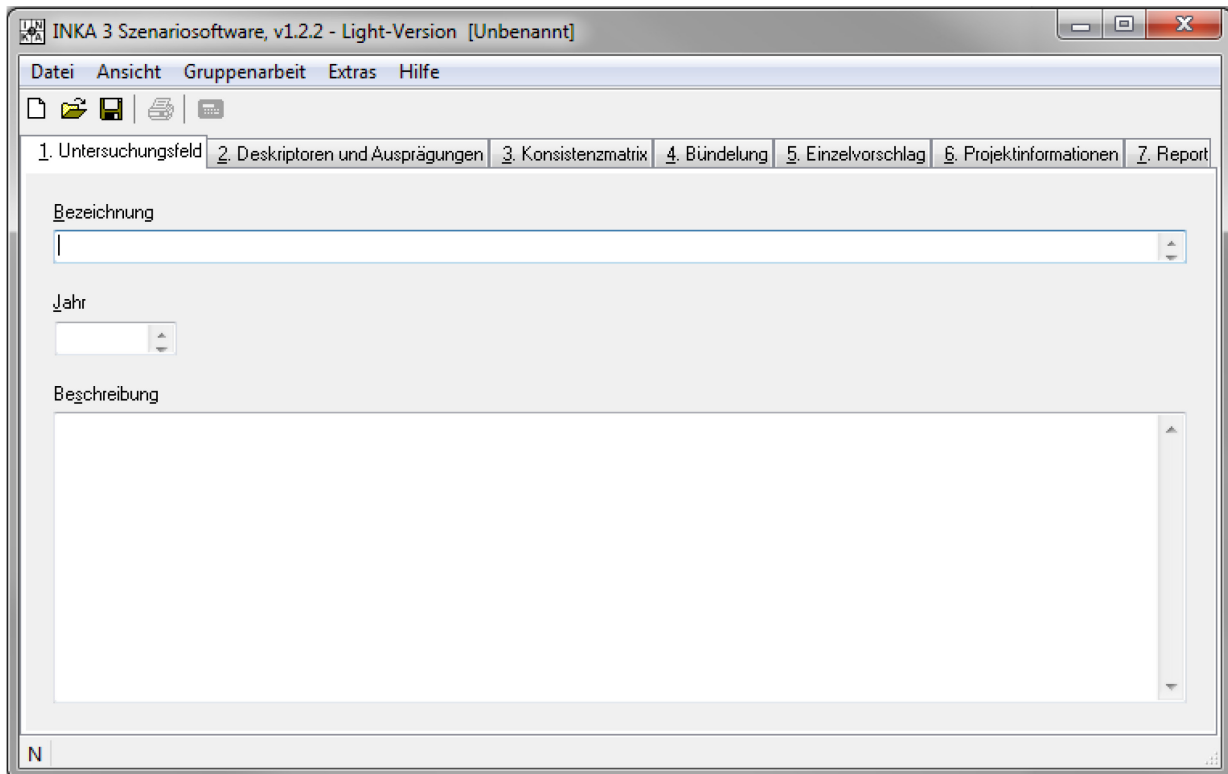


Abbildung 6.2 Benutzeroberfläche von INKA 3 - Szenariosoftware

6.3 Analyse des ITS-Szenariofeldes

6.3.1 Bildung von Einflussbereichen für ITS

Der zweite Schritt im Fünf-Phasen-Modell nach Gausemeier u. a. (1995) beinhaltet die Bildung von Einflussbereichen, die Bildung von Einflussfaktoren sowie die Entwicklung von Schlüsselfaktoren. Damit wird eine Grundlage für spätere Szenarien geschaffen. Mithilfe der Schlüsselfaktoren können dann in der nächsten Phase, der „Prognostik“, Schlüsselfaktorenprojektionen entwickelt werden.

Das Szenariofeld lässt sich in mehrere Einflussbereiche zerlegen. Das erleichtert die Faktorenfindung und ermöglicht es, bereichsspezifische Einflüsse aufzudecken. Aus der Sicht von Unternehmen oder der Politik gibt es interne Lenkungsfaktoren, sowie externe Umfeldfaktoren. Erstere können beeinflusst werden, letztere entwickeln sich und sind nicht lenkbar. Da hier Umfeldszenarien entwickelt werden und eine Auswirkungsanalyse auf die Gestaltungsfelder durchgeführt wird, bestehen die Einflussfaktoren aus hauptsächlich nicht lenkbaren Umfeld-Systemen. **Abbildung 6.3** zeigt die Visualisierung einer Systemhierarchie als Systembild. Das Systembild ist auf Basis der im methodischen Steckbrief näher beschriebenen Literaturrecherche und dem aufbauenden **Kapitel 3** zum Grundverständnis von ITS entstanden.

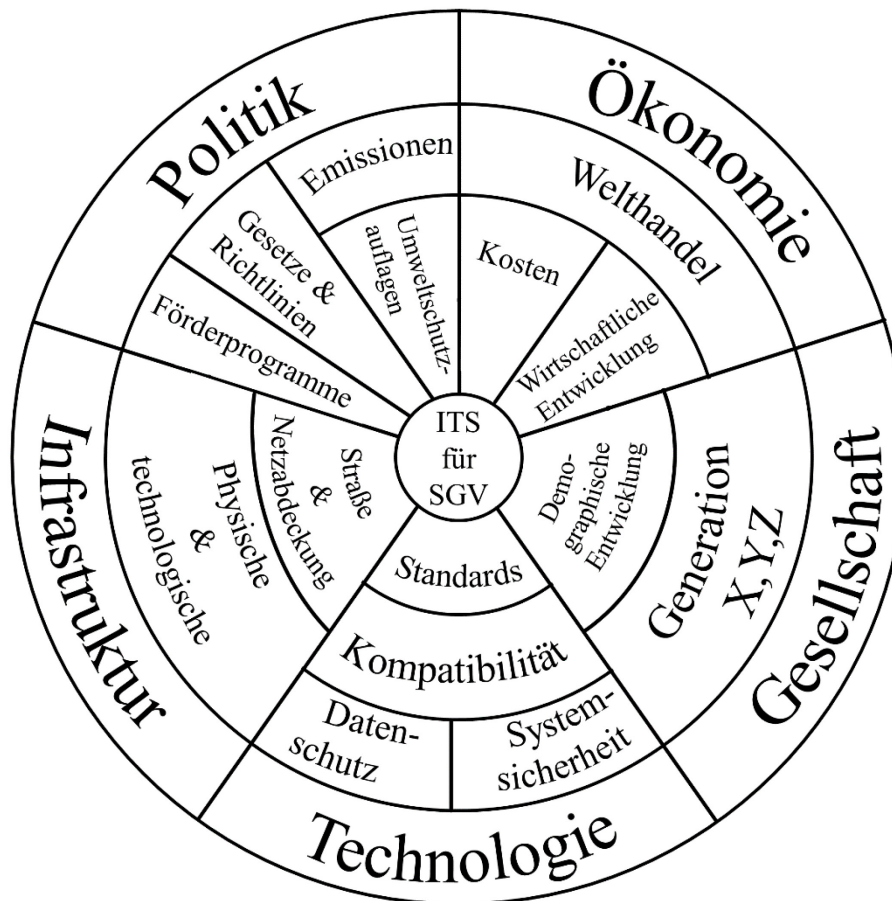


Abbildung 6.3 Systembild von ITS für den Straßengüterverkehr

Bei einer Systemhierarchie wird das Szenariofeld in mehreren Systemebenen abgebildet. Diese Systemebenen repräsentieren die unterschiedlichen Subsysteme der vorhergehenden Ebene. Werden diese unterschiedlichen Subsystem-Ebenen von oben betrachtet ergibt sich ein Systembild, das von außen nach innen betrachtet die beteiligten Einflussbereiche präzisiert.

Die Einflussbereiche von Telematiksystemen für den Straßengüterverkehr werden auf der globalen Systemebene in die fünf Einflussbereiche „Technologie“, „Gesellschaft“, „Ökonomie“, „Politik“ und „Infrastruktur“ unterteilt. Aus diesen Perspektiven gehen dann weitere Subsysteme bis zum behandelten Themengebiet der ITS für den Straßengüterverkehr hervor. Exemplarisch seien hier die physische und technologische Infrastruktur, die als zwei Subsysteme vom globalen Einflussbereich Infrastruktur gelten, erwähnt. Hier sollen jedoch nur die wesentlichen Subsysteme für das untersuchte Szenariofeld „ITS für den Straßengüterverkehr“ dargestellt werden. Weitere Subsysteme des Einflussbereiches „Infrastruktur“, wie die soziale Infrastruktur oder die des Finanz-, Banken-, Steuer und Währungssystems bleiben hier außen vor. Die beiden Subsysteme „Förderprogramme“ und „Gesetze & Richtlinien“ gehen im Gegensatz zu den technologischen und physischen Subsystemen über mehrere Ebenen weiter. Diese Subsysteme sind in mehreren Ebenen Bestandteil der untersuchten Sub- und Subsubsysteme. Richtlinien haben einen Einfluss auf die Kompatibilität von unter-

schiedlichen Systemen, sowie auf die wirtschaftliche Entwicklung oder die Netzaufdeckung eines Landes.

6.3.2 Bildung von Einflussfaktoren für ITS

Aufbauend auf den identifizierten Einflussbereichen und Subsystemen wurden 2016 bei einem zweitägigen Workshop an der Universität Bremen zum Thema „Gestaltungsfelder und Schlüsselfaktoren von ITS für den SGV“ Einflussfaktoren mittels intuitiver und diskursiver Verfahren ermittelt. Die Gestaltungsfeldkomponenten der vier Gestaltungsfelder von ITS für den SGV wurden in einer offenen Plenumsdiskussion ermittelt und werden für die Wirkungsanalyse in **Kapitel 6.6.2** hinzugezogen. **Tabelle 6.1** zeigt die Gestaltungsfelder und deren Komponenten.

Im Anschluss an die Diskussion der Gestaltungsfeldkomponenten wurden mit einem diskursiven und einem intuitiven Verfahren die Einflussfaktoren ermittelt. Die 15 Teilnehmer wurden in vier Gruppen mit je einem Interessenschwerpunkt der vier Themenbereiche von ITS für den SGV eingeteilt. Anschließend wurde an jede der vier Themengruppe eine ABC-Liste, verteilt. Um den assoziativen Prozess anzuregen, sollte zu jedem Buchstaben des Alphabets ein Einflussfaktor mit dem passenden Anfangsbuchstaben gefunden werden. Sodass in jeder der vier Gruppen am Ende eine Liste mit 26 Einflussfaktoren entstand. Zusätzlich wurde auch eine sogenannte „Negativkonferenz“ durchgeführt. Diese beinhaltete eine rein negative Perspektive auf ITS für den SGV und wurde innerhalb eines Plenumbrainstormings abgehalten.

Tabelle 6.1 Vier Gestaltungsfelder und deren Gestaltungsfeldkomponenten in alphabetischer Reihenfolge je Gestaltungsfeld

Flottenmanagement	ADAS	City-Logistik	Mautsysteme
<ul style="list-style-type: none"> • Controlling • Datenflüsse • Datenschutz • Kommunikationsbereitschaft der Akteure • Routenplanung • Technologische Infrastruktur • Verkehrsaufkommen 	<ul style="list-style-type: none"> • Gesellschaftliche Akzeptanz • Gesetze • Hardware • Informationsinfrastruktur • Physische Infrastruktur • Software 	<ul style="list-style-type: none"> • Konsumverhalten • Kooperation • Mautsysteme • Physische Infrastruktur • Politische Entwicklung • Technologische Infrastruktur • Verkehrsaufkommen 	<ul style="list-style-type: none"> • Digitale Bezahlssysteme • Gestaltung des Verkehrsaufkommens • Netzaufdeckung • Physische Infrastruktur • Rechtliche Grundlage • Systemkosten

Die ermittelten Einflussfaktoren dieser beiden Verfahren wurden anschließend von allen Teilnehmern bezüglich ihrer Bedeutung für das betrachtete Szenariofeld validiert und in einer Liste festgehalten. Dabei wurde darauf geachtet, dass die ermittelten Einflussfaktoren eine möglichst neutrale Bezeichnung erhalten, damit die spätere Erstellung von Projektionen nicht durch die Einflussfaktorenbezeichnung verfälscht wird. Beispielsweise wurde die Be-

zeichnung „wirtschaftliches Wachstum“, wodurch eine positive wirtschaftliche Entwicklung impliziert wird, in „wirtschaftliche Entwicklung“ umformuliert.

6.3.3 ITS-Einflussfaktorenkatalog

Insgesamt wurden 22 Einflussfaktoren durch die Teilnehmergruppe als relevant für das Szenariofeld eingestuft. Es folgt eine kurze Erläuterung aller Einflussfaktoren, um ein einheitliches Verständnis der Einflussfaktorenbezeichnungen zu erreichen und so die Bewertungen in der Einflussmatrix in **Kapitel 6.3.4** nachvollziehbarer zu machen.

Kommunikationsbereitschaft der Akteure: Das Einverständnis und die Bereitschaft der Akteure im Bereich des Straßengüterverkehrs einen verbalen und/oder nonverbalen Austausch von Informationen zuzulassen und an diesem aktiv mitzuwirken. Zu den Akteuren im untersuchten Szenariofeld zählen Spediteure, Berufskraftfahrer, Verkehrsleitzentralen, Auftraggeber, Lieferempfänger, Programmierer, sowie Regierungsverantwortliche (vgl. Bäumler 2015).

Ethische Ansichten: ITS sind geprägt von funkbasierten Technologien, die auf Basis einprogrammierter Entscheidungsgrundlagen unter Umständen autonome Entscheidungen treffen. Diese Entscheidungen gehen über einfache Entscheidungsmuster hinaus und betreffen Alternativen, die unter Umständen über Menschenleben urteilen. Die Bundesregierung setzte diesbezüglich und wegen weiterer ethischer Fragestellungen eine Ethik-Kommission ein, um ethische Leitlinien für den Einsatz automatisierten und vernetzten Fahrens zu entwickeln (vgl. BMVI 2017).

Technologieakzeptanz: Nach Davis (1989) basiert die Technologieakzeptanz auf den zwei Faktoren „wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit“ und „wahrgenommener Nutzen“. Damit ist gemeint, wie schnell der Anwender mit der Technologie vertraut ist und damit arbeiten kann, sowie die Zweckmäßigkeit der angebotenen Dienste.

Bedeutung der Privatsphäre: Der Einflussfaktor „Bedeutung der Privatsphäre“ wird hier als die Privatsphäre im Umgang mit ITS verstanden. Damit einhergehend versteht sich die Nachverfolgung und Profilerstellung der personengebundenen Handlungsmuster. Die Diskussion um die Privatsphäre vor dem Hintergrund der sich immer stärker vernetzenden Umwelt wurde durch den Ausspruch von Scott McNealy, damaliger Vorstandsvorsitzender von Sun Microsystems, „You have zero privacy anyway, get over it.“ (vgl. o. A. 1999) auf den Punkt gebracht. Welche Bedeutung nimmt die Privatsphäre in der heutigen Zeit ein und wie offensichtlich gehen unterschiedliche Generation mit diesem Thema um? Dies sind Fragestellungen die sich hinter der „Bedeutung von Privatsphäre“ verbergen.

Datenschutzbedürfnis: Der Datenschutz für den Internetnutzer wird in Deutschland durch das Teledienstedatenschutzgesetz (TDDSG) und den Mediendienste-Staatsvertrag (MDStV) geregelt. Beide Gesetzesnormen bieten einen umfassenden Richtlinienkatalog für den Schutz von Nutzerdaten. Darunter fallen Regeln zur Datenvermeidung und Datensparsamkeit. Ebenso wird ein aktiver Datenschutz seitens der Diensteanbieter verlangt, der nutzer- oder personenbezogene Daten vor Datenmissbrauch, genauso wie vor unerlaubter Dateneinsicht Dritter schützt. Darüber hinaus wird die Nutzerposition bezüglich seiner Daten dahingehend

gestärkt, als dass er über den Verwendungszweck seiner Daten informiert werden muss und auch jederzeit Auskunft über seine gespeicherten Daten erhalten kann (vgl. Bäumler 2000). Das Datenschutzbedürfnis wird hier aus der Sicht des ITS-Anwenders als der Bedarf an Datenschutz verstanden.

Arbeitsplatzentwicklung: Eine in 2013 durchgeführte Studie zur Gefährdung des Arbeitsmarktes durch Automatisierung ermittelte, dass 47% aller Arbeitnehmer im amerikanischen Raum mit hoher Wahrscheinlichkeit durch Automatisierungsprozesse oder Entwicklungen in der Robotik ersetzt werden (vgl. Frey und Osborne 2017). Diese Studie wurde ebenfalls für den deutschen Arbeitsmarkt durchgeführt und ergab unter den Sozialversicherungspflichtigen eine Arbeitsplatzbedrohung von 59%. Besonders gefährdet schienen indes Arbeitsplätze im Bereich Büro und Sekretariat, Post- und Zustelldienste, Lagerwirtschaft, Verkäufer sowie Hilfskräfte in der Reinigung und Gastronomie zu sein (vgl. Brzeski und Burk 2015). Insofern ist die Arbeitsplatzentwicklung für den Berufskraftfahrer oder Zusteller im Straßengüterverkehr vor dem Hintergrund autonomen Fahrens relevant.

Ladungsaufkommen / -beschaffenheit: Unter Ladungsaufkommen werden die gefahrenen Tonnenkilometer verstanden. Hierbei stellt sich auch die Frage, inwieweit die Straße als Hauptverkehrsträger durch die Schiene entlastet wird. Ebenso spielen hier unterschiedliche, das Transportaufkommen reduzierende Entwicklungen im Bereich der Last-Mile Delivery als auch innovative Fertigungskonzepte (z. B. 3D-Druck von Halbfertigerzeugnissen oder Ersatzteilen) eine Rolle.

Wirtschaftliche Entwicklung: Die wirtschaftliche Entwicklung eines Landes wird oftmals mit einem wirtschaftlichen Wachstum in Verbindung gebracht. Das wirtschaftliche Wachstum eines Landes wurde bereits früh von Smith (1778) analysiert. Demnach ist die wirtschaftliche Entwicklung eines Landes von einer freien Marktwirtschaft, Arbeitsteilung und der Faktorproduktivität abhängig. Zur Messung der wirtschaftlichen Entwicklung kann auf das Bruttoinlandsprodukt zurückgegriffen werden.

Kosten: Die Anschaffung neuer Telematik seitens der Logistikunternehmen ist mit Kosten verbunden. Diese können sich aufspalten in Anschaffungs-, Wartungs-, Reparatur-, Fortbildungs- und weitere Kosten in Verbindung mit dem neuen System. Kosten sind oftmals das wesentliche Entscheidungsmerkmal bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) für die Implementierung eines neuen Systems.

E-Commerce: Für den Begriff E-Commerce gibt es keine eindeutige Definition. Allgemein wird aber unter E-Commerce der Verkauf und Kauf von Produkten über einen Online-Zugang verstanden. Das Geschäft über das Internet kann von drei Parteien getätigt werden: dem Konsumenten, Unternehmen und der Regierung. Dabei trifft der Begriff des E-Commerce hauptsächlich auf Geschäftsbeziehungen zwischen Unternehmen und Konsumenten (B2C) sowie Unternehmen und Unternehmen (B2B) zu (vgl. Coppel 2000).

Staatliche Regulierungen: Unter den staatlichen Regulierungen ist das staatliche Eingreifen in Wirtschaftsstruktur, Wirtschaftsordnung und Wirtschaftsprozesse zu verstehen. Dieser

Eingriff erfolgt auf Grundlage von Gesetzen und Verordnungen oder in Form von staatlichen Subventionen, Interventionen und Kontrollen.

Wettbewerbsfaktoren: Nach Porter (1979) muss sich ein Unternehmen in der freien Marktwirtschaft nicht nur gegenüber seinen direkten Konkurrenten behaupten, sondern auch noch vier weitere Wettbewerbsfaktoren beachten: Substitutionsprodukte oder -services, Verhandlungspositionen von Zulieferern und Abnehmern, sowie die Gefahr durch neue Anbieter.

Mautgebühren: Indem Gebühren für die Nutzung des Straßennetzes erhoben werden, können Straßensanierungsmaßnahmen nach dem Verursacherprinzip finanziert werden. Mautgebühren können als zusätzliche Einnahmequelle für die Instandhaltung des Straßennetzes gesehen werden oder zur Steuerung des Verkehrs beitragen. Dadurch können staufreie Alternativfahrbahnen angeboten oder das Verkehrsaufkommen auf vielbefahrenen Straßen gesenkt werden.

Umweltfaktoren: Als Umweltfaktoren werden der Treibhauseffekt, die Verfügbarkeit fossiler Brennstoffe, sowie gesundheitsschädigende Abgasemissionen bezeichnet. Darunter fallen auch alle weiteren damit in Zusammenhang stehende Aspekte, Auswirkungen und Auflagen, wie Fahrverbotszonen, erhöhte Kraftstoffpreise oder höhere Aufwendungen in Filtertechnologien.

Politische Entwicklung: Was beeinflusst die politische Entwicklung eines Landes? Bill Clintons Wahlkampfslogan 1992 beantwortete diese Frage pointiert: „It’s the economy, stupid!“. Er bezeichnete damit also die Wirtschaft als einen wesentlichen Faktor für die politische Entwicklung eines Landes. Ist die Arbeitslosenquote hoch, so steigt die Unzufriedenheit mit der regierenden Partei und wird bei den nächsten Wahlen mit Gegenstimmen quittiert. Gibt es wenig erfolgreiche Unternehmen, fallen auch die Steuereinnahmen geringer aus, sodass auch ein kleinerer Handlungsspielraum für politische Entscheidungen vorhanden ist. Weitere Faktoren, die verstärkt in hoch entwickelten Industrienationen die politische Entwicklung beeinflussen sind Migration und Umweltthemen.

Zoll: Ein Zoll wird im Allgemeinen bei der Einfuhr, Durchfuhr oder Ausfuhr von Produkten in ein Land, durch ein Land oder aus einem Land heraus erhoben. Beim grenzüberschreitenden Transport von Produkten sind Zölle bei der Rechnungserstellung ebenfalls zu berücksichtigen.

Zustand der technologischen Infrastruktur: Für diese Szenarioanalyse bedeutet die technologische Infrastruktur neben Breitbandnetzwerken auch die Signalqualität und Erreichbarkeit von Satellitennavigationssystemen und die Ausstattung der Infrastruktur mit verschiedenen Sensoren und anderen Systemen zur Datenerhebung und -rückführung.

Zustand der physischen Infrastruktur: Der Logistics Performance Index (LPI) ist ein von der Weltbank im Zwei-Jahres Rhythmus herausgegebener Datensatz, der die logistische Leistungsfähigkeit eines Landes bewertet. Demnach belegt Deutschland zum dritten Mal in Folge den globalen Spitzenplatz im Bereich der physischen Infrastruktur. Die Entwicklung dieses

Einflussfaktors steht, laut einer BVL-Umfrage unter 200 deutschen Unternehmen mit starkem Logistikbezug, in Verbindung mit einer positiven Geschäftsentwicklung (vgl. BVL 2014).

Verkehrsfluss: Das Transportaufkommen ist durch ein stetiges Wachstum charakterisiert. Dem gegenüber stehen jedoch nicht im gleichen Verhältnis Investitionen in den Infrastrukturausbau. Diese Diskrepanz beeinträchtigt den Verkehrsfluss. Zusätzlich werden durch mittelfristige Infrastrukturmaßnahmen und langfristige Baustellen in innerstädtischen als auch ländlichen Gebieten Straßenkapazitäten reduziert. Dies wiederum führt zu Straßenengpässen und längeren Fahrzeiten.

Technologische Entwicklung: Technologien bestehen aus verschiedenen Teilen, die für sich genommen bereits Technologien darstellen und die ebenfalls aus kleinen Technologien bestehen (können) (vgl. Arthur 2009). Die Entwicklung beschreibt bei diesem Einflussfaktor die Entstehung neuer technologischer Zusammenschlüsse. Daraus entstehende Chancen und Risiken beeinflussen den Einsatz neuer ITS und verändern gleichzeitig die Transportlandschaft.

Systemstabilität: Im Allgemeinen wird in der Stabilitätstheorie das Verhalten eines Systems gegenüber Störungen als Systemstabilität verstanden. Die Systemstabilität beschreibt für ITS folglich die Fähigkeit einer Funktionseinheit innerhalb vorgegebener Grenzen, für eine gegebene Zeitdauer kein Fehlverhalten zu bewirken oder eintreten zu lassen. Beispielsweise könnte die Systemstabilität von fortgeschrittenen Fahrerassistenzsystemen durch das Hinzufügen zusätzlicher Komponenten oder Regeln in die Steuerelektronik des Fahrzeugs beeinträchtigt werden.

Systemsicherheit: Die Schutzziele der IT-Sicherheit von elektronisch gespeicherten Daten werden laut Bedner und Ackermann (2010) durch Vertraulichkeit, Transparenz, Integrität, Verfügbarkeit und Kontingenz charakterisiert. Erst wenn diese Bereiche in hohem Maße störungsresistent und sicher sind, werden Systeme als sicher eingestuft. Eine mangelnde Systemsicherheit wirkt sich negativ auf die Technologieakzeptanz aus.

Die Zuordnung der Einflussfaktoren zu den Einflussbereichen wurde im Nachgang durch den Autor dieser Arbeit vorgenommen und war nicht Teil des Workshops. **Tabelle 6.2** zeigt die Einflussbereiche mit den dazugehörigen Einflussfaktoren. Außer bei den beiden Einflussfaktoren „Wettbewerbsfaktoren“ und „Zustand der technologischen Infrastruktur“ sind alle anderen Einflussfaktoren eindeutig zuzuordnen. Die Wettbewerbsfaktoren bestimmen zum einen die wirtschaftliche Umgebung, in der sich ein Unternehmen befindet und zum anderen können diese von der Politik durch Subventionen und Protektionismus mitgestaltet werden. Als Zustand der technologischen Infrastruktur ist hier die mobile Netzabdeckung sowie die Verfügbarkeit von Informations- und Kommunikationstechnologien gemeint. Da die Zuordnung aller Einflussfaktoren zur besseren Übersicht vorgenommen wird, können die zweideutigen Zugehörigkeiten vernachlässigt werden.

Tabelle 6.2 Einflussbereiche von ITS für den SGV und deren Einflussfaktoren

Einflussbereich	Einflussfaktoren
Gesellschaft	<ul style="list-style-type: none"> • Kommunikationsbereitschaft der Akteure • Ethische Ansichten • Technologieakzeptanz • Bedeutung der Privatsphäre • Datenschutzbedürfnis
Ökonomie	<ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsplatzentwicklung • Ladungsaufkommen/- beschaffenheit • Wirtschaftliche Entwicklung • Kosten • E-Commerce
Politik	<ul style="list-style-type: none"> • Staatliche Regulierungen • Wettbewerbsfaktoren • Mautgebühren • Umweltfaktoren • Politische Entwicklung • Zoll
Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> • Zustand der technologischen Infrastruktur • Zustand der physischen Infrastruktur • Verkehrsfluss
Technologie	<ul style="list-style-type: none"> • Technologische Entwicklung • Systemstabilität • Systemsicherheit

6.3.4 Einflussmatrix und direkte Einflussanalyse der ITS-Einflussfaktoren

Innerhalb des Workshops wurde mit allen Teilnehmern eine Interdependenzanalyse bezüglich der ermittelten Einflussfaktoren durchgeführt. Dabei wurde anhand der in **Tabelle 6.3** dargestellten Bewertungsskala die gegenseitige Beeinflussung beurteilt.

Tabelle 6.3 Skala der Einflussbewertung

Beschreibung	Bewertung
Kein Einfluss	0
Schwacher, verzögerter Einfluss	1
Mittlerer Einfluss	2
Starker, unmittelbarer Einfluss	3

Die 22 Einflussfaktoren (vgl. **Tabelle 6.4**) wurden in einer Matrix aufgeführt und nach dem Schema „Wie stark beeinflusst Einflussfaktor A (Zeile) Einflussfaktor B (Spalte)?“ bewertet. Insgesamt mussten dadurch 462 Bewertungen vorgenommen werden.¹⁰

Jede dieser Bewertungen erforderte eine Wertung beider Einflussfaktoren und deren gerichteter Einflussnahme. Dieser Schritt ist sehr zeitintensiv. Deshalb wurde darauf geachtet, dass nicht jeder Teilnehmer alle Bewertungen vornehmen musste. Die Bewertungsmatrix wurde in vier Quadranten unterteilt und den neuen Gruppen, besetzt durch jeweils ein Mitglied aus jedem der vier Gestaltungsfeldkomponenten (Flottenmanagement, ADAS, Mautsysteme, City-Logistics) zur Bewertung überlassen.

Zuerst bewertete jedes Gruppenmitglied für sich die ihm zugewiesenen Faktorenbeziehungen. Anschließend wurden diese Bewertungen innerhalb der Gruppen, falls Abweichungen bestanden, diskutiert, sodass am Ende ein Konsens aus Sicht der Gestaltungsfelder entwickelt wurde. **Tabelle 6.4** zeigt die Kennzahlen, die aus der Bewertungsmatrix ermittelt wurden. Für Einflussfaktor „i“ kann eine Aktivsumme (AS_i) (Wie stark beeinflusst Einflussfaktor „i“ andere Einflussfaktoren?) und eine Passivsumme (PS_i) (Wie stark wird Einflussfaktor „i“ von anderen Einflussfaktoren beeinflusst?) ermittelt werden. In einer weiteren Rechnung können ein Dynamik-Index (DI_i¹¹) und ein Impuls-Index (IPI_i¹²) aus AS und PS berechnet werden.

Tabelle 6.4 Kennzahlen der Einflussfaktoren¹³

Einflussfaktor	Nr.	AS	PS	DI	IPI
Kommunikationsbereitschaft der Akteure	1	34	27	918	1,26
Ethische Ansichten	2	29	26	754	1,12
Arbeitsplatzentwicklung	3	27	36	972	0,75
Technologische Entwicklung	4	57	42	2394	1,36
Technologieakzeptanz	5	38	42	1596	0,90
Ladungsaufkommen/- beschaffenheit	6	33	32	1056	1,03
Staatliche Regulierungen	7	49	39	1911	1,26
Bedeutung der Privatsphäre	8	32	23	736	1,39
Systemsicherheit	9	39	36	1404	1,08
Zustand der physischen Infrastruktur	10	39	34	1326	1,15
Zustand der Infrastruktur technologisch	11	54	41	2214	1,32
Verkehrsfluss	12	31	41	1271	0,76
Wirtschaftliche Entwicklung	13	31	44	1364	0,70
Kosten	14	25	50	1250	0,50
Wettbewerbsfaktoren	15	27	37	999	0,73

¹⁰ Die Berechnung lautet: $(\sum \text{Einflussfaktor}_i)^2 - \sum \text{Einflussfaktor}_i = (22)^2 - 22 = 462$.

¹¹ $DI_i = AS_i \cdot PS_i$

¹² $IPI_i = AS_i / PS_i$

¹³ Das Vorgehen zur Ermittlung der jeweiligen Kennzahlen ist in **Kapitel 5.4.3** dargelegt.

Einflussfaktor	Nr.	AS	PS	DI	IPI
E-Commerce	16	41	35	1435	1,17
Umweltfaktoren	17	30	34	1020	0,88
Datenschutzbedürfnis	18	30	28	840	1,07
Systemstabilität	19	27	25	675	1,08
Mautgebühren	20	23	25	575	0,92
Politische Entwicklung	21	34	38	1292	0,89
Zoll	22	22	17	374	1,29

Zur Veranschaulichung und besseren Einordnung der Schlüsselfaktorenbeziehungen können diese in ein erweitertes System-Grid überführt werden. In **Abbildung 6.4** sind fünf unterschiedliche Bereiche zu erkennen. Die Interpretation der einzelnen Bereiche ist **Kapitel 5.4.3** zu entnehmen. Erkennbar wird, dass sich fast alle Einflussfaktoren im neutralen Bereich befinden. Die beiden Ausnahmen bilden Einflussfaktor 4 („Technologische Entwicklung“), der sich im dynamischen Bereich und Einflussfaktor 22 („Zoll“), der sich im puffernden Bereich des System-Grids befindet. Dennoch ist den Einflussfaktoren in Abhängigkeit zu ihrer Nähe zu bestimmten Bereichen eine Tendenz zu entnehmen. Bei den Faktoren 19 („Systemstabilität“) und 20 („Mautgebühren“) handelt es sich demnach um neutrale Faktoren mit einer Tendenz zum Abwartenden bzw. Puffernden. Die neutralen Faktoren 7 („Staatliche Regulierungen“) und 11 („Zustand der technologischen Infrastruktur“) tendieren hingegen eher zum dynamischen Faktor.

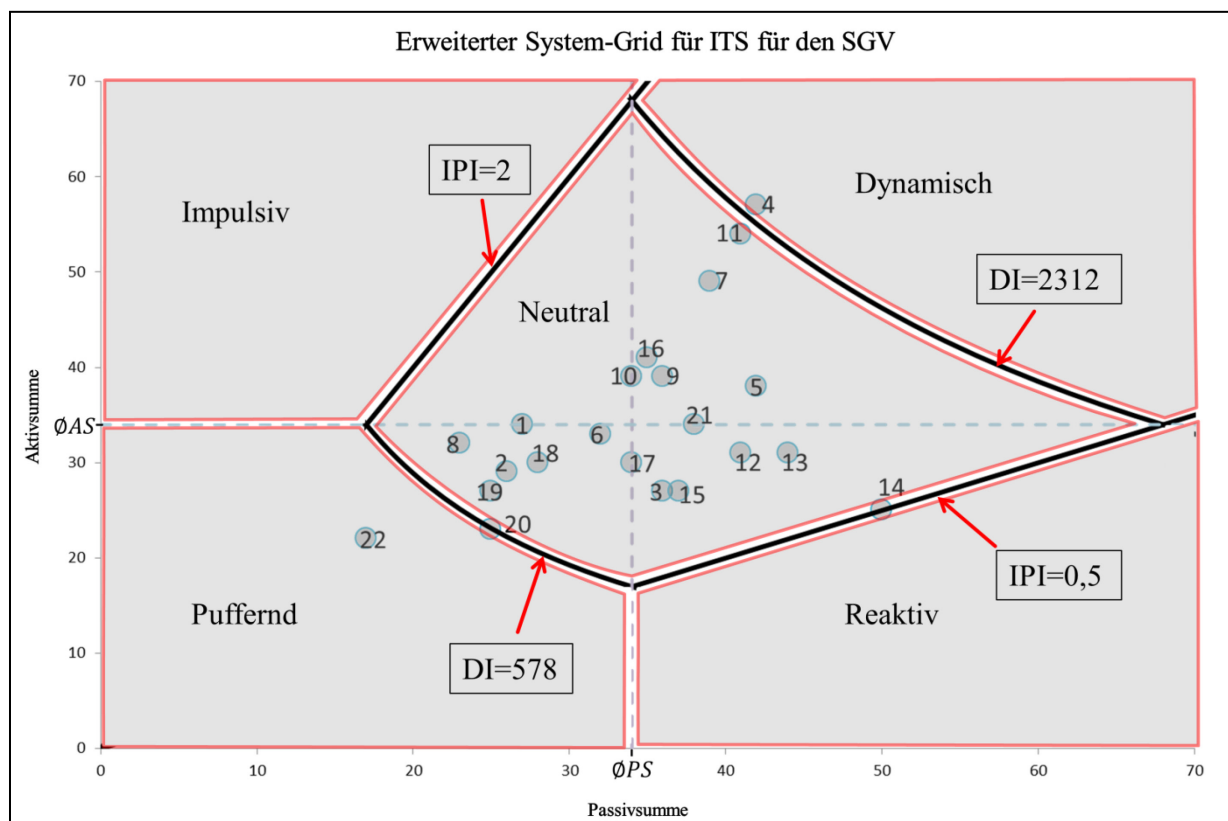


Abbildung 6.4 Erweiterter System-Grid aller Einflussfaktoren

Eine weiterführende Methode zur Ermittlung der Schlüsselfaktoren stellt die Einflussfaktoren-Ähnlichkeitsanalyse dar. Die Ergebnisse dieser Methode werden im folgenden Unterkapitel dargestellt.

6.3.5 ITS-Einflussfaktoren-Ähnlichkeitsanalyse

Die Einflussfaktoren in **Tabelle 6.4** wurden einer Einflussfaktoren-Ähnlichkeitsanalyse unterzogen. Dadurch konnten inhaltlich nahe Einflussfaktoren identifiziert und substituiert werden. Bei der Analyse werden jeweils zwei Einflussfaktorenprofile aus der Bewertungsmatrix miteinander verglichen. Dabei wird die quadrierte euklidische Distanz beider Profile berechnet, um damit eine Aussage über die Vergleichbarkeit zu treffen. Ergeben sich hohe Abweichungen zwischen den Profilen, sind auch die quadrierten euklidischen Distanzen entsprechend hoch. Dann kann davon ausgegangen werden, dass die Bewertungsprofile und somit auch die Einflussfaktoren unterschiedlich sind. Geringe quadrierte euklidische Distanzen deuten hingegen auf eine Faktorenähnlichkeit hin. **Tabelle 6.5** zeigt die 15 Einflussfaktorenpaare, die durch die Ähnlichkeitsanalyse die geringsten Distanzen zu einander aufweisen.

Tabelle 6.5 Ergebnis der Ähnlichkeitsanalyse: Einflussfaktorenpaare mit geringsten Differenzwerten

Nr.	Einflussfaktorenpaar		Differenzwert
1	Technologische Entwicklung	Zustand der technologischen Infrastruktur	22
2	Bedeutung der Privatsphäre	Datenschutzbedürfnis	33
3	Verkehrsfluss	Umweltfaktoren	48
4	Technologische Entwicklung	Staatliche Regulierungen	49
5	Zustand der physischen Infrastruktur	Mautgebühren	51
6	Ladungsaufkommen/-beschaffenheit	Zustand der physischen Infrastruktur	52
7	Staatliche Regulierungen	Politische Entwicklung	52
8	Wirtschaftliche Entwicklung	Wettbewerbsfaktoren	53
9	Zustand der physischen Infrastruktur	Umweltfaktoren	55
10	Systemsicherheit	Zustand der technologischen Infrastruktur	56
11	Wirtschaftliche Entwicklung	Politische Entwicklung	57
12	Bedeutung der Privatsphäre	Systemsicherheit	58
13	Arbeitsplatzentwicklung	Wirtschaftliche Entwicklung	58
14	Kommunikationsbereitschaft der Akteure	Systemsicherheit	60
15	Umweltfaktoren	Mautgebühren	60

Als nächster Schritt der Ähnlichkeitsanalyse musste neben der numerischen Ähnlichkeit der Faktorenpaare auch die inhaltliche Ähnlichkeit analysiert werden. Eine zu geringe inhaltliche Abgrenzung wurde für die beiden Faktorenpaare Nr. 2 („Bedeutung der Privatsphäre“ und

„Datenschutzbedürfnis“) und Nr. 7 („Staatliche Regulierungen“ und „Politische Entwicklung“) ermittelt. Die beiden Faktorenpaare 2 und 7 wurden durch die neuen Einflussfaktoren „Anspruch auf Privatsphäre und Datenschutz“ und „Politische Rahmenbedingungen“ substituiert. Aufgrund der veränderten Datengrundlage musste nun eine nochmalige Einflussanalyse mit einer nachfolgenden erneuten Ähnlichkeitsanalyse durchgeführt werden.¹⁴ **Tabelle 6.6** zeigt die neuen Kennzahlen der einzelnen Einflussfaktoren nach der Ähnlichkeitsanalyse. Aufbauend auf diesen Ergebnissen lässt sich ein erneuter erweiterter System-Grid aufführen (s. **Abbildung 6.5**).

Tabelle 6.6 Kennzahlen der Einflussfaktoren nach der Ähnlichkeitsanalyse

Einflussfaktor	Nr.	AS	PS	DI	IPI
Kommunikationsbereitschaft der Akteure	1	31	21	651	1,48
Ethische Ansichten	2	23	25	575	0,92
Arbeitsplatzentwicklung	3	27	32	864	0,84
Technologische Entwicklung	4	53	39	2067	1,36
Technologieakzeptanz	5	32	39	1248	0,82
Ladungsaufkommen/- beschaffenheit	6	32	31	992	1,03
Politische Rahmenbedingungen	7	45	40	1800	1,13
Anspruch auf Privatsphäre u. Datenschutz	8	22	20	440	1,10
Systemsicherheit	9	34	30	1020	1,13
Zustand der physischen Infrastruktur	10	37	32	1184	1,16
Zustand der technologischen Infrastruktur	11	48	36	1728	1,33
Verkehrsfluss	12	29	39	1131	0,74
Wirtschaftliche Entwicklung	13	29	40	1160	0,73
Kosten	14	25	45	1125	0,56
Wettbewerbsfaktoren	15	26	33	858	0,79
E-Commerce	16	37	33	1221	1,12
Umweltfaktoren	17	28	31	868	0,90
Systemstabilität	18	26	25	650	1,04
Mautgebühren	19	22	22	484	1,00
Zoll	20	21	14	294	1,50

¹⁴ Die vollständigen Ergebnisse der Ähnlichkeitsanalyse können im elektronischen Anhang F und G eingesehen werden.

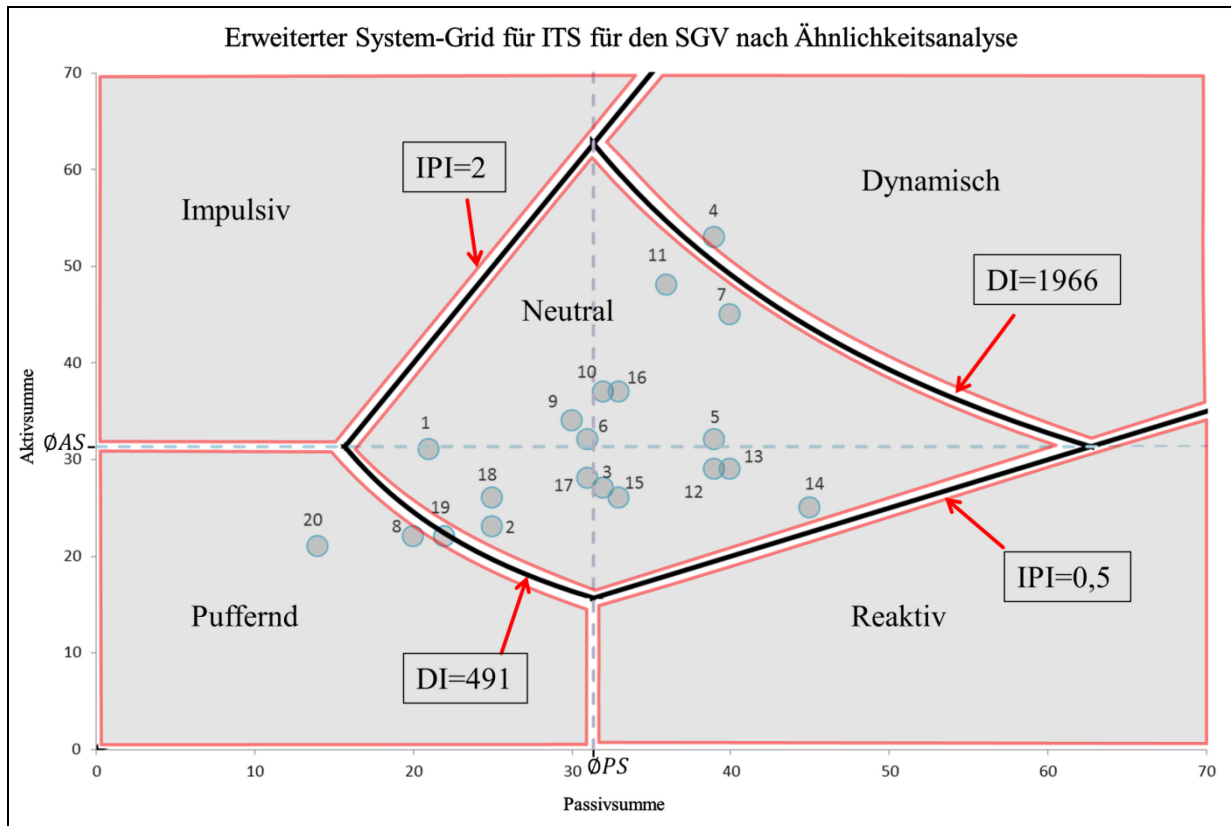


Abbildung 6.5 Erweiterter Systemgrid nach erster Ähnlichkeitsanalyse

Im Vergleich zu **Abbildung 6.4** lässt sich eine deutliche Verschiebung der Einflussfaktoren in **Abbildung 6.5** erkennen. Zum einen hat sich durch die Substitution von vier auf zwei Einflussfaktoren der durchschnittliche Aktiv- und Passivwert von 34 auf 31,35 reduziert. Daraus folgt die Veränderung der oberen und unteren DI-Grenzen und somit zu einer Verschiebung des neutralen Einflussfaktorenbereiches. Und zum anderen lässt sich eine leichte Verschiebung der Einflussfaktoren in den puffernden Bereich erkennen. Die beiden neuen Einflussfaktoren Nr. 7 (vormals Nr. 7 („staatliche Regulierungen“) und Nr. 21 („politische Entwicklung“)) und Nr. 8 (vormals Nr. 8 („Bedeutung der Privatsphäre“) und Nr. 18 („Datenschutzbedürfnis“)), vgl. **Tabelle 6.4**) haben sich moderat verändert. Das bedeutet, dass Faktor Nr. 8 „Anspruch auf Privatsphäre und Datenschutz“ nun in den puffernden Bereich übergegangen ist und somit an Bedeutung verloren hat und „Politische Entwicklungen“ (Faktor Nr. 7) näher zum dynamischen Einflussfaktorenbereich gerückt ist.

6.3.6 ITS-Schlüsselfaktoren

Das hier behandelte Szenariofeld orientiert sich an einem weit in der Zukunft liegenden Zeithorizont. Die verschiedenen Entwicklungen der identifizierten Einflussfaktoren beschreiben ein Umfeld im Jahr 2030, wodurch sich eine Aussage über den Gebrauch von intelligenten Transportsystemen für den Straßengüterverkehr formulieren lässt. Es handelt sich somit um *langfristige Umfeldszenarien*, die eine Auswahl der Einflussfaktoren nach absteigender Aktivsumme wählen lassen (Vgl. **Kapitel 5.4.3**).

Nach Gausemeier u. a. (1995) ist es darüber hinaus anzustreben, eine optimale Grundmenge an Einflussfaktoren zu wählen. Diese Empfehlung war Mitte der 90er Jahre vor allem der geringen Rechnerleistung zuzuschreiben. Auch wenn die Arbeitsgeschwindigkeit der heutigen Rechnerkapazitäten deutlich zugenommen hat, ist Gausemeiers Empfehlung weiterhin zu beachten, da eine Verwendung aller Einflussfaktoren zu einer „Verwässerung“ der wichtigsten Entwicklungen führen kann. Laut Gausemeier u. a. (1995) werden so viele Schlüsselfaktoren wie nötig und so wenige wie möglich gewählt, um aussagekräftige Szenarien zu erstellen.

Tabelle 6.7 Auswahl Schlüsselfaktoren

Einflussfaktor	Nr.	AS	DI	%DS ¹⁵	kum.% DS
Technologische Entwicklung	4	53	2067	10%	10%
Zustand der technologischen Infrastruktur	11	48	1728	8%	19%
Politische Rahmenbedingungen	7	45	1800	9%	27%
Zustand der physischen Infrastruktur	10	37	1184	6%	33%
E-Commerce	16	37	1221	6%	39%
Systemsicherheit	9	34	1020	5%	44%
Technologieakzeptanz	5	32	1248	6%	50%
Ladungsaufkommen/- beschaffenheit	6	32	992	5%	55%
Kommunikationsbereitschaft der Akteure	1	31	651	3%	59%
Verkehrsfluss	12	29	1131	6%	64%
Wirtschaftliche Entwicklung	13	29	1160	6%	70%
Umweltfaktoren	17	28	868	4%	74%
Arbeitsplatzentwicklung	3	27	864	4%	78%
Wettbewerbsfaktoren	15	26	858	4%	82%
Systemstabilität	18	26	650	3%	86%
Kosten	14	25	1125	6%	91%
Ethische Ansichten	2	23	575	3%	94%
Anspruch auf Privatsphäre u. Datenschutz	8	22	440	2%	96%
Mautgebühren	19	22	484	2%	99%
Zoll	20	21	294	1%	100%

Dementsprechend wurden gerade so viele Einflussfaktoren gewählt, um ungefähr 70% der gesamten Systemdynamik erklären zu können. **Tabelle 6.7** zeigt den Einflussfaktorenkatalog sortiert nach absteigender Aktivsumme. Somit wurden insgesamt zwölf Schlüsselfaktoren gewählt (erkennbar am stärkeren Trennstrich zwischen dem Faktor „Umweltfaktoren“ und „Arbeitsplatzentwicklung“). Zusätzlich zu der prozentualen Hilfestellung der Systemdynamik bei der Auswahl von Schlüsselfaktoren wurde noch der Faktor „Umweltfaktoren“ hinzugezogen, da die Umwelt gerade zur heutigen Zeit und aufgrund der immer häufiger auftretenden Diskussionen zur Minimierung globaler Temperaturanstiege immer weiter in den Fokus der

¹⁵ Prozentuale Dynamik des Einflussfaktors bezieht sich auf die gesamte Systemdynamik.

Aufmerksamkeit gerät. Die gewählten Schlüsselfaktoren bilden somit 74% der gesamten Szenariofeld-Dynamik ab.

6.4 Erstellung von Projektionen aller ITS-Schlüsselfaktoren

6.4.1 Berücksichtigung von Güterkriterien bei der Erstellung von Projektionen

Ziel dieses Unterkapitels ist die „Formung“ einer möglichen Zukunft. Hier entscheidet sich anhand der drei Dimensionen „inhaltliche Ausrichtung“, „Plausibilität“ und „Zeithorizont“, welche Arten von Szenarien behandelt werden. Bei den erarbeiteten Projektionen werden zusätzlich die in **Kapitel 5.4.4** beschriebenen fünf Gütekriterien (Glaubwürdigkeit, Unterschiedlichkeit, Vollständigkeit, Relevanz und Informationsgehalt) beachtet.

Die Aufbereitung der jeweiligen Schlüsselfaktoren erfolgt durch die Bestimmung der Schlüsselfaktoren-Merkmale. Anhand dieser Merkmale können die Schlüsselfaktoren im Anschluss projiziert werden. Jedes Kapitel zu den Schlüsselfaktoren wird zunächst die wesentlichen Schlüsselfaktoren-Merkmale bestimmen, um dann im nächsten Schritt den Ist-Zustand des jeweiligen Schlüsselfaktors zu beschreiben. Anschließend wird mit ein bis drei Projektionen die Entwicklung des Schlüsselfaktors fortgeschrieben. Wird berücksichtigt, dass sich mit der wirtschaftlichen Entwicklung eines Landes diverse Forschungsinstitute, Konsortien und Gremien mit zahlreichen Mitarbeitern beschäftigen, wird deutlich, dass in dieser Arbeit mit der Beschreibung des Ist-Zustandes kein Anspruch auf Vollständigkeit gelegt werden kann

In Anlehnung an Littles (1970) „Decision Calculus“ und den darin enthaltenen sechs Kriterien zur Informationsverarbeitung wurden Informationen zur Formulierung der Projektionen abgewogen und ausgewählt. Diesen sechs Kriterien folgend wurde darauf geachtet, dass die Informationen verständlich und nicht unnötig komplex sind („simple“) und zu keinen abwegigen Projektionen führen („robust“). Des Weiteren sind die ausgehenden Informationen von einer Beschaffenheit, die nicht nur eine Entwicklungsrichtung vorgibt („easy to control“). Ebenso wurde darauf geachtet, aktuelle Entwicklungen einzubeziehen („adaptive“) und diese so gründlich wie möglich zu recherchieren („complete on important issues“). Zu guter Letzt mussten die Informationen einen einfachen Informationsaustausch ermöglichen („easy to communicate with“).

6.4.2 Übersichtsdarstellung aller Projektionen

In **Tabelle 6.8** sind alle Projektionen, die im Folgenden erarbeitet werden, dargestellt. Die Bandbreite jeder einzelnen Schlüsselfaktorenprojektion kann je behandeltem Schlüsselfaktor von einem Trend- bis zu einem Extremverlauf gehen. Lediglich der Einflussfaktor „Wirtschaftliche Entwicklung“ wurde mit nur einer Projektion fortgeschrieben, da voll entwickelte Industrienationen auf lange Sicht einen positiven Wirtschaftstrend aufweisen. Dadurch war dieser Einflussfaktor unkritisch und wurde auch bei der Konsistenzinschätzung in **Kapitel 6.4** nicht berücksichtigt, da es für ihn keine Alternative gibt. Nach dem „Decision Calculus“ und den fünf Güterkriterien für Projektionen wurde versucht, eine gewissenhafte Informationsgrundlage für folgende Projektionen zu erarbeiten.

Tabelle 6.8 Schlüsselfaktoren und deren Projektionen

Nr.	Schlüsselfaktor	Projektion
1	Technologische Entwicklung	1A – Technologische Stagnation 1B – Patentoase Deutschland
2	Zustand der technologischen Infrastruktur	2A – Nicht erfüllte Erwartungen 2B – Technologische Ballungszentren 2C – Galileo und LTE-Zeitalter
3	Politische Rahmenbedingungen	3A – Starke politische Unruhen 3B – Volatile Regierungsentscheidungen 3C – Hohes Vertrauen in die Regierung
4	Zustand der physischen Infrastruktur	4A – Marode Straßen 4B – Hohe Investitionen in die Straßeninfrastruktur
5	E-Commerce	5A – Home-Shopping 5B – Einkaufen als Freizeiterlebnis
6	Systemsicherheit	6A – Cyberkriminalität floriert 6B – Großangelegte Sicherheitsupdates
7	Technologieakzeptanz	7A – Technologiegeprägtes Leben 7B – Verschiedene gesellschaftliche Technologieschichten 7C – Technologieaverse Gesellschaft
8	Ladungsaufkommen/-beschaffenheit	8A – Gesunkene Beförderungsmenge 8B – Monoton angestiegene Beförderungsmenge
9	Kommunikationsbereitschaft der Akteure	9A – Offene Informationskultur 9B – „Quid pro quo“ Informationskultur 9C – Abkehr von Informationsoffenheit
10	Verkehrsfluss	10A – Verkehrskollaps 10B – Freie Fahrt 10C – Intelligente Verkehrsführung
11	Wirtschaftliche Entwicklung	11A – Effizienzstandort Deutschland 12A – Klimaschutz wird zur Nebensache
12	Umweltfaktoren	12B – Hohe Umweltauflagen 12C – Verknappung der fossilen Brennstoffe

6.4.3 Technologische Entwicklung

Die technologische Entwicklung ist allgegenwärtig. Jeden Tag verwenden wir zahlreiche technologische Errungenschaften: Dazu gehören der Wecker, die elektrische Zahnbürste, die halbautomatische Kaffeemaschine und viele weitere Alltagsgegenstände. Dabei hängt die Verschmelzung unseres Alltags mit technologischen Hilfsgütern auch davon ab, in welchem Land und unter welchen sozioökonomischen Bedingungen wir leben.

Um den aktuellen technologischen Stand eines Landes zu beschreiben, ist zunächst die Frage zu klären, woran sich dieser Zustand messen lässt. Wird zu den Anfängen des erfinderischen

Denkens zurückgegangen, so wird schnell deutlich, dass Erfindungen wie das Telefon (Philipp Reis (1859)) oder die Straßenbahn (Werner von Siemens (1881)) zu patentieren sind, um erfinderisches Denken zu schützen und zu honorieren. Als Voraussetzung müssen patentfähige Erfindungen allerdings neu sein, auf einer erfinderischen Tätigkeit beruhen und gewerblich anwendbar sein (§1 Abs. 1 PatG).

Ist-Zustand

In Deutschland wurden 2010 knapp 59.500 Patente angemeldet. 2016 waren es schon knapp 68.000. Das ist eine Steigerung um 14% in sechs Jahren. Wird nun der prozentuale Zuwachs als Vergleichswert genutzt, so können dadurch rein mengenmäßige demographische Unterschiede ausgeklammert werden.

Durch den prozentualen Zuwachs an Patentanmeldungen kann zwar ein Einblick in die Innovationslandschaft der betrachteten Länder gewonnen werden, es bleibt aber unmöglich zu sagen, in welchem technologischen Zustand sich diese Länder befinden. Beispielsweise wäre eine Aussage über die technologische Infrastruktur ein Indikator für die technologische Entwicklung. Dies ist allerdings für sich genommen bereits ein Schlüsselfaktor und wird im folgenden Unterkapitel aufgegriffen. Ebenso könnte das Vorhandensein neuer technologischer Systeme als Indikator für den technologischen Reifegrad einer Gesellschaft herangezogen werden. Eine vollständige Auflistung moderner Systeme ist hier allerdings nicht gewollt. Sie werden aber akzentuiert für die nachvollziehbaren Entwicklungen der beiden folgenden Projektionen verwendet.

Projektion 1A - Technologische Stagnation

Die Welt befindet sich im technologischen Stillstand. Die Gründe hierfür sind zahlreich: In den späten 2010er wurde in den Produktionshallen verstärkt auf Automatisierung gesetzt. Studien von McKinsey und ING-DiBa zeigten den prozentualen Anteil der durch Automatisierungen und Robotereinsatz gefährdeten Berufe. Diese Ergebnisse werden von den betroffenen Stellen nicht ernst genommen. Als dann die ersten Entlassungsschreiben verschickt werden, richten die Menschen ihre Wut auf die „so hoch“ gehaltene Technologisierung. Politische Entscheidungsträger merken, dass durch den starken Stellenabbau auch die wirtschaftliche Kaufkraft des Landes geschwächt wird und erlassen Gesetze zum Schutz des Arbeitnehmers vor technologischer Substitution. Dadurch wird die technologische Entwicklung gehemmt. In Anbetracht der gehemmten Innovationsförderung seitens der Regierung werden seit 2020 stetig weniger Patente in Deutschland angemeldet. Waren es 2016 noch knapp 68.000 Patentanmeldungen so liegt die Zahl der neuen Patentanmeldungen im Jahre 2030 nur noch bei der Hälfte.

In der Medizin werden mechanische und elektronisch gesteuerte Prothesen als Verstärkung des menschlichen Bewegungsapparates und zur Verbesserung bestimmter Bewegungsabläufe auch ohne medizinische Notwendigkeit verbaut bzw. implantiert. Dies führt zu einer Teilung der Gesellschaft in zwei Klassen: Die der privilegierten Menschen mit verbesserten physischen Fähigkeiten und längerer Lebenserwartung und die Klasse der Menschen, die sich solche Verbesserungen nicht leisten können. Da diese erste Klasse deutlich kleiner ist, gerät

der technologische Fortschritt mit seinen Möglichkeiten in Verruf und wird deshalb vom Großteil der Bevölkerung abgelehnt.

Ein weiterer Ablehnungsgrund liegt in den Möglichkeiten, die autonomes Fahren verspricht. Zwar nehmen autonome Fahrerassistenzsysteme dem Passagier die Fahrleistung ab, es ist ihnen aber nicht möglich, in Gefahrensituationen antizipativ zu reagieren, sodass es immer wieder zu schweren Unfällen kommt. Dieser Aspekt führt ebenfalls zu einem Rückgang in der Akzeptanz autonomer Systeme.

Projektion 1B - Patentoase Deutschland

Visionäre wie Raymond Kurzweil (Google), Elon Musk (Tesla) oder Richard Branson (Virgin Group) gestalten die Welt mit ihren Ideen. Lange Testreihen und erfolgreiche Pilotprojekte zeigen der Menschheit, dass sie die Erde schützen und zu ihrem Vorteil gestalten können. Die CO₂-Probleme werden durch elektrisch betriebene Pkws und Lkws stark reduziert. Dadurch verbessern sich nicht nur die Luftqualität im innerstädtischen Bereich, sondern auch die allgemeinen Lebensbedingungen, da durch die Elektromotoren eine vom Lkw ausgehende Lärmbelastung beim Bremsen und Anfahren ausbleibt.

Erste intelligente Selbstbedienungs- und Haushaltsroboter bringen Vertrauen und Zuversicht ins Bewusstsein der Menschheit. Täglicher Umgang mit künstlicher Intelligenz führt zu einer insgesamt wohlwollenden Atmosphäre gegenüber technologischen Errungenschaften. Es entstehen neue Branchen und Studienfelder. Die Menschen sehen in Technologien die Lösung für ihre Probleme. Die Landwirtschaft wird bereits vollautonom betrieben und erzeugt ausreichend Nahrung für die Weltbevölkerung.

Angetrieben durch diese positive Annahme seitens der Gesellschaft werden immer mehr Bereiche aus dem Alltag vernetzt. Der Mensch ist ein Individuum und gleichzeitig Teil einer großen Bewegung. Dies führt zu einer innovationsfördernden Umgebung und stellt den technologischen Fortschritt in den Mittelpunkt. Das wird auch deutlich wenn die Patentanmeldungen betrachtet werden. Waren es 2016 noch knapp 68.000 Anmeldungen in Deutschland so hat sich diese Zahl bis 2030 stetig erhöht und hat nun den Höchstwert von 80.000 Anmeldungen erreicht.

6.4.4 Zustand der technologischen Infrastruktur

Für die Projektionserstellung wird das neunte Item des „Global Competitiveness Index“ (GCI) herangezogen. Die technologische Bereitschaft eines Landes spaltet sich dementsprechend in die Adaptionfähigkeit technologischer Systeme und den aktuellen Gebrauch von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) auf (vgl. Schwab u. a. 2017). Die technologische Adaptionfähigkeit wird durch Unternehmensbefragungen ermittelt und gliedert sich in drei Kategorien auf:

- Verfügbarkeit neuester Technologien
- Adaption und Anwendung neuer Technologien aus Sicht der Unternehmen
- Technologietransfer durch Direktinvestitionen im Ausland (FDI)

Der Einsatz und die Verwendung von IKT nach dem GCI in einem Land wird in vier Bereiche aufgegliedert und durch die „International Telecommunications Union“ mit Daten versorgt:

- Prozentualer Anteil von Internetnutzern
- Anzahl der Festnetz-Breitbandanschlüsse je 100 Einwohner
- Internationale Internetbandbreite je Internetnutzer in kb/s pro Nutzer
- Anzahl mobiler Breitbandanschlüsse je 100 Einwohner

Für die späteren Szenarien spielen sowohl die Adaptionfähigkeit technologischer Systeme als auch der aktuelle Gebrauch von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) eine Rolle. Der erste Bereich zeigt auf, wie aktiv Unternehmen das technologische Angebot verwenden und sich bemühen, sich neue Technologien über FDI anzueignen. Der zweite Bereich zeigt die zur Verfügung gestellte technologische Infrastruktur im Sinne eines Internetzuganges und ermöglichten Bandbreite durch die nationalen Telekommunikationsanbieter.

Zusätzlich wird das von der Europäischen Union (EU) und der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) initiierte Projekt namens Galileo in die Erstellung möglicher Projektionen einbezogen. Bei Galileo handelt es sich um ein GNSS das 2020 seine volle Satellitenstärke erreichen soll.

Ist-Zustand

Deutschland belegt 2018 in der Kategorie „Technologische Bereitschaft“ den achten Platz im Weltvergleich. Gegenüber der Platzierung im Global Competitiveness Index-Bericht (GCI) 2016/2017 konnte Deutschland im GCI-Bericht 2017/2018 um zwei Plätze aufsteigen. Die Ergebnisse für den ersten Bereich der „Technologischen Bereitschaft“, nämlich die Adaptionfähigkeit von neuen Systemen, lassen Deutschland auf dem zwölften Platz im Weltvergleich rangieren. In einer Wertungsskala von eins bis sieben, wobei sieben bezogen auf die Erwünschtheit den höchsten Wert beschreibt, wird die Verfügbarkeit neuer Technologien mit 6,1, die Adaptionfähigkeit bezogen auf neue Technologien mit 5,7 und der Technologietransfer mittels FDI mit 5,4 bewertet. Der zweite Bereich der „Technologischen Bereitschaft“, nämlich der aktuelle Gebrauch von IKT, lässt Deutschland auf den neunten Platz rangieren. Hier nehmen die einzelnen Unterpunkte (prozentualer Anteil der Internetnutzer, Anzahl Breitbandanschlüsse je 100 Einwohner, internationale Internetbandbreite je Internetnutzer in kb/s/Nutzer und Anzahl mobiler Breitbandanschlüsse je 100 Einwohner) in dieser Reihenfolge die Werte 89,6%, 38,1, 107,5 und 80,2 ein. Von Galileo werden bereits erste Dienste angeboten. Nutzer berichten von besseren Positionierungsdaten auch in Großstädten.

Projektion 2A - Nicht erfüllte Erwartungen

Die vollständige Netzabdeckung in Deutschland bleibt ein anhaltendes Problem. Im internationalen Vergleich fällt Deutschland weiter ab. Gründe dafür finden sich in der monopolartigen Dienstleisterposition der Telekom. Dem Unternehmen fehlt die kritische Masse an Abnehmern je Quadratkilometer um die veraltete Kupferkabelinfrastruktur durch Glasfaserkabel abzulösen. Während in andern Ländern mobile Internethotspots zum Alltag gehören,

können sich deutsche Entscheidungsträger nicht auf rechtliche Fragestellungen einigen, sodass Hotspots nur selten und in speziell angezeigten Zonen zur Verfügung stehen. Das globale europäische Navigationssatellitensystem Galileo konnte zwar 2020 in Betrieb gehen, blieb aber hinter den Erwartungen zurück, sodass die Menschen immer noch auf das seit 1993 bestehende amerikanische GPS setzen. Im Gegensatz zu anderen sich stark entwickelnden Ländern wie bspw. Brasilien oder Russland wird das Internet in Deutschland nicht als Chance aufgefasst. Ältere Generationen distanzieren sich weiterhin vom Internet. Jüngere Generationen nutzen das Internet nur zu ihrem Vergnügen und zum Konsum von Unterhaltungsvideos. Unternehmen haben zwar weiterhin guten Zugang zu neuen Technologien, wirken aber saturiert. Es entsteht ein extrinsisch motiviertes Arbeitsumfeld.

Projektion 2B - Technologische Ballungszentren

In den mittlerweile 25 deutschen Großstädten ist LTE überall vorhanden und wird sogar durch die Städteverordnungen gefördert. Mobile Hotspots stehen überall zur Verfügung und ermöglichen die Nutzung datenintensiver Dienste. Unternehmen konkurrieren innerhalb dieser Strukturen, indem sie sich gegenseitig mit neuen Technologien aus dem Wettbewerb drängen. Es herrscht totale Vernetzung innerhalb der städtischen Grenzen. Dies ist möglich, da die Telekommunikationsanbieter in Großstädten eine Einwohnerdichte vorfinden, die eine Umrüstung der veralteten Kupferkabel in Glasfaserkabel profitabel gestaltet. Jeder Haushalt besitzt einen festen Breitbandanschluss, da mittlerweile alles über das Internet übertragen wird. Galileo gestaltet das Leben in der Großstadt mit neuen und genaueren Ortungsdiensten mit. Diese Tatsache treibt immer mehr Menschen in die Städte, da das Umland weiterhin unterversorgt bleibt. Während in den Großstädten die Durchschnittsgeschwindigkeiten des Internets bei 100 Mbit/s liegt, müssen sich die ländlichen Gegenden mit stark unterdurchschnittlichen Übertragungsraten zufrieden geben.

Projektion 2C - Galileo und LTE-Zeitalter

Mehrere Gesetzesentwürfe und sogenannte Breitbandinitiativen fördern die flächendeckende Netzabdeckung. Auch in den „neuen“ Bundesländern wird eine Verbesserung der durchschnittlichen Internetgeschwindigkeit vorgenommen. Dadurch siedeln sich immer mehr Unternehmen auch in den ehemals strukturschwachen Bundesländern an. Menschen stellen fest, dass das Leben auch außerhalb von Großstädten floriert. Die Urbanisierung findet weiterhin statt, allerdings verteilt sie sich flächendeckend, sodass es auch innerorts zu einer Verflüssigung des Verkehrs kommt. Die Netzabdeckung durch LTE ist Standard geworden. Angetrieben von den Kundenanforderungen strukturieren sich Unternehmen neu und bieten eine „Rund-um-die-Uhr“ Einsicht in ihre Prozesse an. Es entsteht eine neue internetangepasste Umgebung, in der die Marktteilnehmer um die Gunst ihrer Kunden wetteifern. Es werden innovative Kundenzufriedenheitskonzepte entwickelt. Dies ist vor allem möglich, da die Kunden den angebotenen Service überall einsehen können und ihn auch verlangen. Das globale Navigationssatellitensystem Galileo ist ein Erfolg. Die in Europa vorher mit GPS angebundenen Dienste können nun auf Galileo zugreifen, wodurch die Positionsgenauigkeit und Ortung auf dem Land und im innerstädtischen Bereich verbessert wurden.

6.4.5 Politische Rahmenbedingungen

Die politischen Rahmenbedingungen setzen sich zusammen aus der politischen Entwicklung und staatlichen Regulierungen. Es werden die politischen Rahmenbedingungen in Deutschland beleuchtet. Dazu wird der World Governance Index (WGI) herangezogen, der jährlich von zwei Institutionen („Natural Resource Governance Institute and Brookings Institution“ und “World Bank Development Research Group”) erarbeitet wird. Der WGI setzt sich aus sechs Indikatoren zusammen, die wiederum auf Basis unterschiedlicher Indikatoren aggregiert werden. Diese ebenfalls aufzuzählen und zu erläutern würde über den Zweck dieser Arbeit hinausgehen, weshalb es nur zu der Aufzeichnung und Erklärung der sechs übergeordneten Indikatoren kommt (vgl. The World Bank Group 2018):

1. Unter Mitspracherecht und Verantwortlichkeit (Voice and Accountability) werden die Möglichkeiten der Bürger eines Landes verstanden, ihrer Stimme Gewicht zu verleihen sowie die Freiheit, sich selbst zu verwirklichen und Zugang zu freien Medien zu erhalten.
2. Politische Stabilität und Abwesenheit von Gewalt (Political Stability and Absence of Violence) misst die Wahrscheinlichkeit politischer Unruhen oder politisch motivierter Angriffe.
3. Mit der Leistungsfähigkeit der Regierung (Government Effectiveness) wird die Wahrnehmung der Effektivität des öffentlichen Lebens durch die Bürger eines Landes verbunden. Ebenso wird damit gemessen, wie gut der öffentliche Dienst funktioniert, wie glaubwürdig die Regierung ist, wie transparent die Regierungsentscheidungen sind und wie Gesetze an die Bürger herangetragen werden.
4. Die staatliche Ordnungspolitik (Regulatory Quality) zeigt die Fähigkeit einer Regierung, Gesetze verständlich und nachvollziehbar zu gestalten und somit das öffentliche Leben zu beeinflussen und zu unterstützen.
5. Mit der Rechtsstaatlichkeit (Rule of Law) wird die Wahrnehmung der exekutiven Gewalt verstanden. Darunter fallen Entscheidungen bezüglich Vertragseinhaltung, Eigentum und Kriminalität, sowie die Fähigkeit von Gerichten und der Polizei.
6. Die Korruptionskontrolle (Control of Corruption) beschreibt, inwieweit Machtpositionen in der Gesellschaft zum eigenen Wohl ausgenutzt werden. Ebenso wird darunter die Aneignung staatlicher Interessen von wenigen oder elitären Gruppierungen verstanden.

Ist-Zustand

Dem WGI zufolge befindet sich Deutschland in allen oben genannten Indikatoren auf einem guten bis sehr guten Platz. Nur im Bereich der politischen Stabilität und Abwesenheit von Gewalt und Terror (Indikator 2) hat Deutschland im Vergleich zu 2006 (= Percentile Rank 82,13) einen Abwärtstrend zu verzeichnen (2016 = Percentile Rank 70,95). Die Entwicklung des politischen Systems in Deutschland ist maßgeblich von der politisch-moralischen und materiellen Katastrophe des Nationalsozialismus geprägt (Andersen und Woyke 2013). Seitdem hat sich in Deutschland seit der Bundestagswahl am 24. September 2017 nach der Typologisierung (Sartori 1992) ein extremer Pluralismus entwickelt. Demnach existieren sechs bis acht Parteien, die alleine nicht in der Lage sind eine absolute Mehrheit im Bundestag zu

vereinen. Ebenso besteht eine hohe ideologische Distanz zwischen den Parteien. Zurzeit befinden sich in absteigender Reihenfolge der Stimmanteile die CDU, SPD, AfD, FDP, DIE LINKE, GRÜNE und CSU im Bundestag (vgl. Der Bundeswahlleiter 2017).

Laut einer INSA-Umfrage von 2015 waren die drei wichtigsten politischen Themen „Einwanderung“, „Eurokrise“ und „soziale Gerechtigkeit“. Die soziale Gerechtigkeit und die diese bestimmende Sozialpolitik wird vor allem in wirtschaftlich hoch entwickelten Ländern verfolgt. Eine seit Mitte des 20. Jahrhunderts auf- und ausgebaute Sozialpolitik hat Deutschland den Status eines Wohlfahrtsstaates (= welfare state) eingebracht. So zumindest wird Deutschland in der direkten Übersetzung im englischsprachigen Ausland und im akademischen Umfeld betitelt (Schmidt 2005). Während die Sozialpolitik schon lange thematisiert wird, ist die „Eurokrise“ erst ab 2009 (vgl. Reusens und Croux 2017) und die Einwanderung erst seit Merksels „Wir schaffen das“-Politik (vgl. Weimer 2017) in 2015 ein Thema geworden. Vor allem die Migrationspolitik in Deutschland ist nicht nur der Hauptgrund für das Erstarken der (rechtspopulistischen) AfD, sondern auch Keim der gegenwärtigen politischen Unzufriedenheit (vgl. Wendt 2018).

Den gegenwärtigen politischen Zustand fortzuschreiben, gestaltet sich aufgrund des ersten und dritten Gütekriteriums (Glaubwürdigkeit und Vollständigkeit) als schwierig. Zum einen kann in einem pluralistischen Parteiensystem die Ablösung der regierenden Partei bei den nächsten Bundestagswahlen eine komplette Neuorientierung des politischen Kurses bedeuten, sodass das Fortschreiben einer politischen Entwicklung über fast drei Wahlperioden in Abhängigkeit der regierenden Partei zu betrachten wäre und deshalb als unglaublich eingestuft werden kann. Zum anderen läuft durch die Vielschichtigkeit der politischen Lage eines Landes das dritte Gütekriterium (Leistungsfähigkeit der Regierung) Gefahr, nur unzureichend erfüllt zu werden. Deshalb werden für die folgenden drei Projektionen folgende vier Annahmen getroffen:

1. Für den betrachteten Zeitraum bleiben die beiden großen Volksparteien (CDU und SPD) weiterhin regierungsbildende Schlüsselparteien.
2. Deutschland gehört in dem betrachteten Zeitraum laut WGI weiterhin zu den Spitzenländern.
3. Die europäische Union bleibt erhalten.
4. Zur Vereinfachung werden die politischen Rahmenbedingungen anhand der drei oben erwähnten Themen „Einwanderung“, „Eurokrise“ und „soziale Gerechtigkeit“ projiziert.

Projektion 3A - Starke politische Unruhen

Kern der politischen Unruhen ist die ungleiche Wohlstandsverteilung und die weiterhin anhaltende unklare Migrationspolitik der regierungsbildenden Parteien. Ein großer Teil der Einwanderer bringt auch die muslimische Sozialisierung und Kultur mit, wodurch sich in Teilen der deutschen Bevölkerung Angst vor einer stetigen Islamisierung verbreitet. Aufgrund weiterhin ungeklärter Möglichkeiten und Rechte der Schutzsuchenden und Vertriebenen, die Arbeitssuche, Aufenthaltsstatus und Familiennachzug einschließen, kommt es zur Unzufrieden-

denheit der Schutzsuchenden mit der Folge, einer sich „epidemisch ausbreitenden Kriminalität“ (vgl. Wendt 2018). Zum Schutz des Eigentums und zur Beruhigung der Lage werden verstärkt polizeiliche Kräfte in zentrale Regionen entsendet. Das Wohnen in den bewachten Vierteln ist allerdings teuer, was die soziale Ungleichheit erst „toxisch“ (vgl. Wendt 2018) macht. Menschen wählen politische Repräsentanten, die ein sicheres Leben als wichtigsten Agendapunkt sehen. Diese finden sich allerdings vornehmlich im rechten Lager des Parteienspektrums.

Die europäische Krise hat sich ausgeweitet. Nachdem England letztendlich aus der EU ausgetreten ist, muss Deutschland nun mehr in das EU-Budget einzahlen. Dadurch wird eine wirtschaftliche Stabilisierung und eine soziale Konvergenz der Eurozone unterstützt. Diese Entscheidungen wurden aber zulasten der sozialen Auffangschirme und ohne Berücksichtigung des demographischen Wandels und der angespannten Rentensituation getroffen. Die Menschen sind unzufrieden mit der Regierung und fordern strukturelle Reformen.

Projektion 3B - Volatile Regierungsentscheidungen

Die Meinung der Menschen ist so zwiegespalten wie ihre Regierung. Auf der einen Seite stehen christlich-humanistische Werte und eine gelungene Integrationsleistung, auf der anderen Seite werden durch die Zu- und Einwanderungspolitik und den demographischen Wandel diese Werte auf eine starke Probe gestellt. Infolgedessen führen grundlegende Änderungsvorschläge der Sozialpolitik zu einer starken Frontenbildung. Die Politik steht vor einem Dilemma: Einerseits sind die Grund- und Schutzrechte jedes Schutzsuchenden einzuhalten, andererseits steigt die Unzufriedenheit innerhalb der Bevölkerung. Dies führt zu zweideutigen Aussagen. Werden die ersten Jahre Waffenexporte in völkerrechtlich unklare Länder untersagt, so wird dieses Gesetz in den Folgejahren wieder aufgelockert, um die Sozial- und Migrationspolitik finanzieren zu können. Einerseits fehlt es an Pflegepersonal für die älter werdende Bevölkerung, andererseits werden arbeitswillige Schutzsuchende nicht für den Arbeitsmarkt zugelassen. Es entsteht eine Atmosphäre der Unsicherheit.

Die innere Unsicherheit verleitet Politiker zur schnellen Symptombehandlung. Größere Projekte werden aus Angst der medialen Hetze unterlassen. Kleine Gesetzesinitiativen werden schnell erlassen, da sie jederzeit wieder annulliert werden können und keinen größeren Einfluss üben. Offene Diskussionen finden zwar statt, führen aber zu vagen Aussagen. Deutschland hat im europäischen Kontext an politischem Einfluss verloren, was den Euroraum zwar nicht wirtschaftlich schwächt, dafür aber ziellos wirken lässt.

Projektion 3C - Hohes Vertrauen in die Regierung

In Talkshows, Nachrichten und Reden wurde der Appell: „Jetzt brauche es mehr Zusammenhalt“ regelmäßig verlautet. Nach einigen Jahren kommt dies bei der Bevölkerung an. Die Menschen stellen egoistische, materielle Bedürfnisse beiseite und engagierten sich in ehrenamtlichen Aufgaben. Die Solidarität mit den Schutzbedürftigen nimmt unvergleichliche Ausmaße an. Die Menschen organisieren neben staatlichen Initiativen weitere Hilfsaktionen und können dem anhaltenden Einwanderungsdruck standhalten. Es wird mehr gespendet, mehr private Zimmer zur Verfügung gestellt und mehr Patenschaften und Vormundschaften

übernommen. Ganz im Sinne des Sondierungspapiers im Jahre 2018 zwischen der CDU und SPD werden Geflüchtete als Chance und Verstärkung gesehen. Diese Potentiale werden im Arbeitsmarkt deutlich. Der Fachkräftemangel im Mittelbau konnte reduziert werden. Die unklare Rentensituation für die kommenden Jahre kann aufgrund des verstärkten Zugangs der Geflüchteten auf den Arbeitsmarkt und durch eine gesamte Verjüngung der Gesellschaft geklärt werden.

Menschen, die sich vorher sozial benachteiligt fühlten, vergleichen nun ihre eigene Situation mit der Situation der Schutzbedürftigen und stellen fest, dass sie wesentlich besser gestellt sind und sich glücklich schätzen können. Dies führt zu einem insgesamt aufwärts gerichteten Stimmungsverlauf. Zusätzliche finanzielle Impulse in die Familienpolitik sorgen für ein höheres Vertrauen in die Regierung. Diese neu erlangte Frische greift auch auf die Nachbarländer über und führt zu einer nie dagewesenen Solidarität im Euroraum. Die Eurokrise wandelt sich durch die gemeinsamen Anstrengungen in eine europäische Aufschwungphase.

6.4.6 Zustand der physischen Infrastruktur

Im Jahre 2007 wurde der Logistics Performance Index (LPI) zum ersten Mal und seit 2010 alle zwei Jahre herausgegeben. Der LPI ist ein logistischer Vergleichsindex für die Leistungsfähigkeit des Straßengüterverkehrs eines Landes, der sich aus sechs Indikatoren aggregiert:

1. Customs
2. Infrastructure
3. International shipments
4. Logistics quality and competence
5. Tracking and tracing
6. Timeliness

Der erste Indikator (Customs) gibt Aufschluss über die Effizienz, mit der der Zoll und allgemein die Grenzabfertigung eines Landes funktionieren. Mit dem zweiten Indikator (Infrastructure) wird die Qualität der Handels- und Straßeninfrastruktur verbunden. Der dritte Indikator (International shipments) misst, wie einfach es ist, internationale Transporte in Auftrag zu geben. Indikator vier (Logistics quality and competence) zeigt auf, wie hoch das Kompetenzlevel und der Qualitätsstandard eines Landes bezogen auf den Straßengüterverkehr ist. Unter Tracking und Tracing wird im Zeitalter der immer stärker auf den Markt drängenden Technologien die Möglichkeit verstanden, seine Warensendung nachzuverfolgen und zu orten. Wie häufig und zuverlässig die betrachteten Länder diese Fähigkeit besitzen, wird mit Indikator 5 festgelegt. Der letzte Indikator (Timeliness) misst, wie hoch die Erfüllungsrate in der vorgegebenen Zeit zu liefern oder grundsätzlich pünktlich zu liefern ist.

Die Daten jedes Landes werden von Logistikdienstleistern dieser Länder bezogen. Diese werden nicht nur darum gebeten, die aktuelle logistische Infrastruktur ihres Landes, sondern auch die Erfahrungen und Zustände der logistischen Infrastruktur der Länder, mit denen sie zusammenarbeiten, zu beurteilen (vgl. The World Bank 2018a).

Ist-Zustand

Deutschland nimmt laut LPI in 2016 den ersten Platz im weltweiten Vergleich der physischen Infrastruktur ein. Wird der LPI in seine Bestandteile aufgegliedert, so wird erkennbar, dass Deutschland bewertungstechnisch nur im Bereich „Infrastructure“ und „Logistics Quality and Competence“ die führende Position einnimmt. Für die Projizierung des Schlüsselfaktors „Zustand der physischen Infrastruktur“ wird aber nur auf den Indikator „Infrastructure“ geschaut. Seit Beginn der Erhebungen ist dieser Wert auf einer Skala von 1 (sehr niedrig) bis 5 (sehr hoch) von 4,19 (2007) auf 4,44 (2016) gestiegen.

Für den Erhalt, Neu- und Umbau des öffentlichen Verkehrsnetzes werden öffentliche Mittel aufgewendet. Diese Mittel werden in der Bundesverkehrswegeplanung verteilt und im Bundesverkehrswegeplan (BVWP) dokumentiert. Der BVWP wurde auf Grundlage von Struktur-, Seeverkehrs-, Verkehrsverflechtungs- und der drei Sektoralprognosen Straße, Schiene, Wasserstraße erstellt und bildet die Basis für die Verkehrsinfrastrukturplanung bis 2030. Das Gesamtvolumen des BVWP 2030 beträgt 269,6 Mrd. €, wovon 42,8 Mrd. € zur Abfinanzierung späterer Bauvorhaben reserviert sind. Für den Erhalt des derzeitigen Verkehrsnetzes werden 141,6 Mrd. € veranschlagt. Der Rest wird für Neu- und Umbaumaßnahmen benötigt.

Insgesamt fallen 49,3% (= 132,8 Mrd. €) des BVWP Gesamtvolumens auf den Verkehrsträger Straße. Darin enthalten sind Folgefinanzierungen zuvor zugelassener Bauvorhaben, Baufinanzierungen zum Erhalt, Neu- und Umbau der derzeitigen Straßeninfrastruktur, sowie Budgetanteile für Baufinanzierungen, die länger andauern und sich damit über den BVWP-Zeitrahmen erstrecken.

Projektion 4A - Marode Straßen

Die Sparpolitik zum Substanzerhalt der deutschen Straßeninfrastruktur der letzten Jahre kann auch durch die Anhebung der finanziellen Bemühungen durch den BVWP in 2030 nicht mehr mit den auftretenden Straßenschäden mithalten. Durch einen besonders kalten Winter im zweistelligen Minusgradbereich sind durch kleine Risse im Asphalt auf den Straßen weitere und größere Risse entstanden. Die Länder können bei der Sanierung der Straßenschäden nicht mit der Geschwindigkeit neu auftretender Straßenschäden mithalten. Langfristig kommt es zu einem Abfall des LPI-Indikators „Infrastructure“. Deutschland büßt seine Vorreiterstellung ein und verliert an internationaler Anerkennung.

Zu allem Überfluss müssen immer häufiger baufällige Brücken aus den 50er und 60er Jahren saniert werden. Dieser Umstand ist auf nicht absehbare Entwicklungen im Transportvolumen zurückzuführen. Die hochgelobte deutsche Ingenieurskunst zeigt immer häufiger, dass sie nicht alles vorhersehen kann. Durch eine Gleisabsenkung im August 2017 bei der Bohrung des Rastatter Tunnels, musste die Bestandsstrecke oberhalb des Tunnels gesperrt werden (vgl. Wiedemann 2018). Vorfälle dieser Art ereignen sich auch weiterhin, sodass Fertigstellungstermine regelmäßig überschritten werden, was insgesamt Einnahmeeinbußen für Güterverkehrsunternehmen bedeutet. Vorfälle dieser Art sorgen in ihrer Gesamtheit zu einem Abfall der Zuverlässigkeit und Belastbarkeit des deutschen Straßennetzes.

Projektion 4B - Hohe Investitionen in die Straßeninfrastruktur

Die Bundesvereinigung Logistik (BVL) führte 2012 eine Umfrage unter 200 deutschen Unternehmen mit hohem Logistikbezug durch. Dabei kam heraus, dass 90% der teilgenommenen Unternehmen eine positive zukünftige Geschäftsentwicklung mit Investitionen in die Infrastruktur verbinden. Dieser Einschätzung entsprechend ist auch der BVWP einzuordnen. Im Vergleich zum für die Jahre 2001 bis 2015 vorher gültigen „BVWP 2003“ wurden für den „BVWP 2030“ ein um rund 56% (= 96,4 Mrd. €) höheres Budget zur Verfügung gestellt. Ebenso gab es eine Finanzierungssteigerung für Bundesfernstraßen um 49% (= 43,6 Mrd. €). Dadurch konnte Deutschland seine Vorreiterstellung im LPI behaupten und weiter ausbauen. Durch den Neubau wichtiger Verbindungstrassen konnte eine höhere Termintreue und insgesamt kürzere Transportwege realisiert werden, was zu einer Effizienzsteigerung in allen transportabhängigen Branchen geführt hat.

6.4.7 E-Commerce

Der Handel im Internet wird als E-Commerce bezeichnet. Eine einheitliche Definition gibt es nicht (vgl. Coppel 2000). Für eine nähere Betrachtung des Begriffs scheint zumindest die Eignung zu bestehen, dass es sich bei E-Commerce entweder um über das Internet geführte Business-to-Business (B2B) oder Business-to-Consumer (B2C) Geschäftsbeziehungen handelt (vgl. Chaffey 2007, Coppel 2000, Laudon und Traver 2018).

Die Vorteile von E-Commerce gegenüber stationärem Handel werden in den folgenden acht Merkmalen gesehen: Allgegenwärtigkeit, Informationsfülle, globale Erreichbarkeit, universelle Standards, Anknüpfungspunkte zu sozialen Netzen, Personalisierung von Produkten, Verschiedenartigkeit von Informationen (Text, Video, Audio) und Interaktivität.

Das Wachstum im E-Commerce-Segment ist auch vom Wachstum der Internetnutzung abhängig. Je mehr Menschen freien Internetzugang erhalten, desto häufiger werden Käufe über das Internet abgewickelt. Um die Jahrtausendwende lag der Anteil an Internetkäufern unter den Internetnutzern in etwa bei 50% (vgl. Riehm u. a. 2002). Nach neuesten Umfrageergebnissen liegt dieser Wert im zweiten Quartal 2017 bereits bei 75% (vgl. GlobalWebIndex 2017).

Ist-Zustand

Eine weltweite Umfrage aus dem Jahre 2017 zeigt auf, welche Produktkategorien von den Internetnutzern lieber online und welche lieber offline gekauft werden. Dabei wird ersichtlich, dass Bücher, Musik, Filme und Videospiele von 60% der Befragten lieber online gekauft werden (28% kaufen diese Produkte lieber offline ein) und Lebensmittel von nur 23% der Befragten lieber online gekauft werden (70% der Befragten bevorzugen immer noch den „offline“-Einkauf) (vgl. PwC 2017). Damit bilden die genannten Produktkategorien die jeweiligen Enden der Befragungsskalen ab. **Abbildung 6.6** zeigt weitere Produktkategorien und die bevorzugte Kaufoption der Befragten. Durch die aufgeführten Produktkategorien kann der zukünftige Trend abgeleitet werden. Ebenso kann eine Aussage darüber getroffen werden,

welche Produktkategorien einen transporttechnischen Aufwand und damit einen Einfluss auf den Straßengüterverkehr und im Speziellen der Last-Mile-Delivery ausüben.

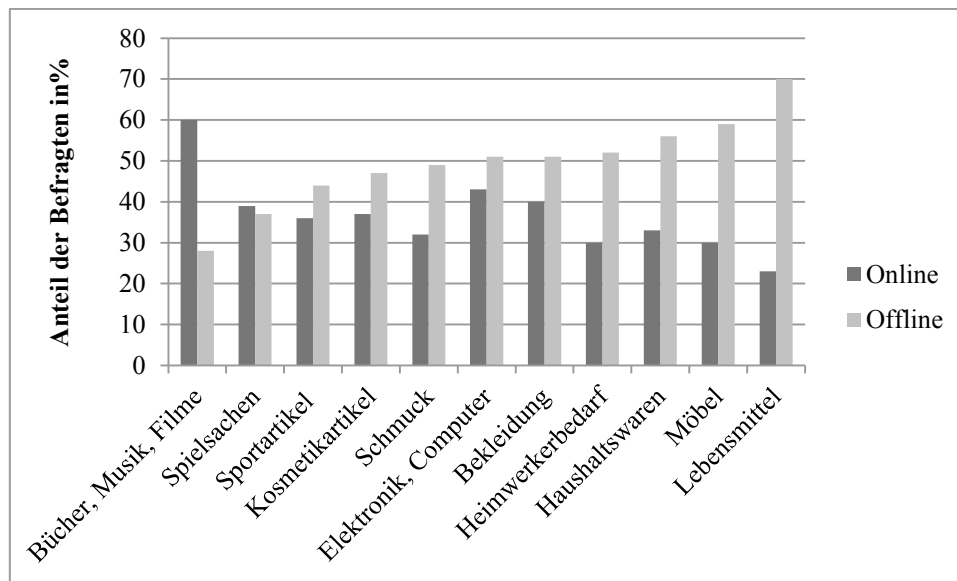


Abbildung 6.6 Produktkategorien und das bevorzugte Kaufmedium in 2017

Alle Formen von E-Commerce (B2B und B2C) weisen in den letzten Jahren zweistellige Wachstumsraten auf (vgl. Laudon und Traver 2018). Der weltweite E-Commerce Umsatz belief sich 2016 auf 1.096,81 Mrd. €, wovon 4,03% (= 44,2 Mrd. €) in Deutschland generiert wurden (vgl. HDE 2017). Zum Vorjahr wies der E-Commerce Umsatz in Deutschland eine Umsatzsteigerung von 10,78% auf (2015: 39,9 Mrd. €).

Projektion 5A - Home-Shopping

Wie amerikanische Analytiker behaupteten, werden Ende 2020 E-Commerce Transaktionen in Höhe von \$933 Mrd. von Konsumenten und \$9,1 Billionen von Unternehmen abgewickelt. Die prognostizierte vollständig digitale Beteiligung von geschäftlichen Transaktionen wird für 2050 angestrebt.

Apps ergänzen das Onlineangebot. Es wird einfacher, online zu shoppen. Durch HTML5 werden die Online Inhalte auf Web-Stores interaktiver und damit greifbarer. Virtual Reality (VR) ermöglicht, das Einkaufen als Freizeiterlebnis von zu Hause aus. Der persönliche Kontakt wird ebenfalls über eingebaute Kundenberatungsschnittstellen direkt in die virtuelle Realität eingebettet. Die einzigen Unterschiede zum persönlichen Gespräch bestehen im nicht möglichen Körperkontakt, und dem Ort der Unterhaltung. Durch diese Möglichkeiten der Geschäfts- und Kundenbeziehungen kann jeder Nutzer entscheiden, ob er Anonymität sucht oder in ein direktes Gespräch mit einem Mitarbeiter treten möchte.

Unabhängig von der Technologie der virtuellen Realität wird Home-Shopping als zeitsparender und vor allem stressfreier angesehen. Vor allem junge Familien steigen auf das Home-Shopping Angebot um, um sich und den Kindern den realen Einkaufsweg und die damit verbundenen Mühen zu ersparen. Das Home-Shopping entwickelt sich mit stetig verbesserten

Benutzeroberflächen und einem auf die Bedürfnisse der Internetnutzer ausgerichteten Service immer weiter.

Projektion 5B - Einkaufen als Freizeiterlebnis

Trotz zahlreicher Prognosen und Expertenmeinungen bezüglich der E-Commerce Entwicklung weist der stationäre Handel einen soliden Umsatz auf. Die Menschen schätzen das Einkaufen als Freizeiterlebnis und lassen sich nicht von neuartigen Einkaufsmöglichkeiten überzeugen. Das liegt vor allem an der im Onlineshopping fehlenden Haptik.

Es entstehen zwei Ströme im Einkaufsverhalten: Produkte, die zum alltäglichen Leben gehören und keinen weiteren Entscheidungsprozessen unterliegen (z. B. Toilettenpapier, Milch, Bücher) werden online gekauft. Diese werden in regelmäßigen Transporttouren an die Haushalte geliefert. Produkte, die erst getragen oder in die Hand genommen werden müssen, um eine Passgenauigkeit abschätzen zu können oder um das Gefühl für das Produkt zu bekommen (z. B. Kleidung, Schmuck, Heimwerkerbedarf), werden weiterhin „Offline“ eingekauft.

Darüber hinaus rückt durch die stetige Digitalisierung des Alltags der persönliche Kontakt wieder in den Vordergrund. Die Menschen wertschätzen ein freundliches Gespräch Angesicht zu Angesicht und lassen sich gerne auf diesem Wege zu einer Kaufentscheidung hinreißen. Es sind die persönlichen, lebendigen und zwischenmenschlichen Eindrücke der Umgebung, sowie das treibende und geschäftige Leben, das den Kunden zum Einkaufen verleitet. Dieses Gefühl kann „Virtual Reality“ nicht erzeugen.

6.4.8 Systemsicherheit

Die Systemsicherheit zählt in der heutigen Zeit zu den wichtigsten und zugleich kritischsten Entwicklungsfeldern und hat sich in den letzten 20 Jahren von den drei klassischen Schutzzielelen - Vertraulichkeit, Verfügbarkeit und Integrität - zu weiteren feinmaschigeren Schutzzielelen entwickelt (vgl. Bedner und Ackermann 2010). Da sich die Umwelt einer stetigen Digitalisierung unterzieht (Stichwort Internet der Dinge) ist sicherzustellen, dass nur die Menschen und Systeme Zugriff auf die Objekte und Prozesse erhalten, denen sie gehören bzw. die das Anrecht auf deren Nutzung erworben haben. In allen anderen Fällen muss ein unerlaubter Zugriff unterbunden werden. Es müssen Sicherheitsmechanismen entwickelt werden, um die Systeme vor Angriffen zu schützen. Die Schutzziele der IT-Sicherheit gehen aber über das prominenteste Beispiel des Schutzes vor Fremdeinwirkung durch einen „digitalen Einbruch“ hinaus. Die IT-Sicherheit unterteilt die Schutzziele in die fünf übergeordneten Bereiche Vertraulichkeit, Transparenz, Verfügbarkeit, Integrität und Kontingenz (vgl. Bedner und Ackermann 2010).

Vertraulichkeit bedeutet, dass nur Befugte auf IT-Systeme und somit nur ein definierter Personenkreis auf die geschützten Inhalte zugreifen kann (vgl. Holznagel und Dietze 2003). Zu diesen Inhalten gehören gespeicherte oder versandte Daten und Informationen. Neben weiteren Aspekten der Vertraulichkeit ist sicherzustellen, dass die Daten (-pakete) beim Kommunikationsvorgang mehrerer hintereinander folgender Internetabfragen nicht zur Identifi-

kation oder Nachvollziehbarkeit eines Nutzers führen dürfen. Transparenz bildet das Gegenstück zur Vertraulichkeit und beinhaltet die Beobachtbarkeit, Kontrollierbarkeit und Prüfbarkeit im datenschutzrechtlichen, systemischen und politischen Kontext (vgl. Rost und Pfitzmann 2009). Unter Verfügbarkeit wird die Möglichkeit des vorgesehenen Zugriffs auf Systeme und die darin enthaltenen Daten zu jedem Zeitpunkt verstanden (vgl. Dustdar u. a. 2003). Der Schutz der Integrität bezieht sich sowohl auf die Daten- als auch Systemintegrität und beinhaltet die Korrektheit und das korrekte Funktionieren der Daten bzw. des Systems. Unter anderen sind Gründe für eine mangelnde Integrität oft in unterschiedlichen Systemversionen, fehlenden Schnittstellen, aber auch in mangelhaften Anforderungslisten seitens der Auftraggeber zu finden. Dadurch kann die ordnungsgemäße Funktionsweise beeinträchtigt werden (vgl. Williams 2006). Das letzte übergeordnete Schutzziel „Kontingenz“ ist abstrakt und soll sicherstellen, dass Prozesse nicht alternativlos nur durch Systeme ablaufen. Im Gegensatz zur Integrität, die feststellt, dass etwas funktioniert, weist die Kontingenz darauf hin, dass auch andere Sichtweisen und Gründe auf das gleiche Ergebnis hinweisen könnten (vgl. Bedner und Ackermann 2010).

Ist-Zustand

Der Ist-Zustand der Systemsicherheit kann durch die Darstellung der Inhalte, die zum Schutz von IT-Systemen verfolgt werden, beschrieben werden. Dies hat jedoch zur Folge, dass nur beurteilt werden kann, welche Merkmale neue (und alte) Systeme aufweisen müssen, um sicher und stabil zu funktionieren. Daraus lässt sich nur schwerlich erkennen, wie es tatsächlich um die Systemsicherheit einer Gesellschaft bestimmt ist. Eine andere Möglichkeit bestünde darin zu untersuchen, wie viele digitale Angriffe auf Unternehmen gemeldet wurden, die Online-Dienstleistungen anbieten (z. B. Dropbox, Steam, Amazon). Zwar wäre noch zu beweisen, dass eine Internetkriminalität mit einer schlechten IT-Sicherheit korreliert, allerdings ist auch nicht abzustreiten, dass hohe Schutzvorkehrungen für sichere Computersysteme und Netzwerke den Angriff auf diese- und somit die Internetkriminalität- reduzieren. Daraus folgt die Darstellung des Ist-Zustands anhand aktueller Zahlen vom Bundeskriminalamt aus dem „Bundeslagebild Cybercrime 2016“ (vgl. Bundeskriminalamt 2017).

„Jedes fünfte Unternehmen wurde im Jahr 2016 Opfer eines erfolgreichen Cyberangriffs [...]“ (Bundeskriminalamt 2017, S.8). Im vorherigen Jahr war es noch jedes zehnte Unternehmen. Der gesamte auf Internetkriminalität zurückzuführende finanzielle Schaden, belief sich 2016 auf 51,63 Mio. € (2015: 45,11 Mio. €). Diese Angabe ist jedoch vor dem Hintergrund der Dunkelziffer zu sehen, da viele Opfer einen Diebstahl nicht bemerken oder aufgrund von Listigkeit der Täter die Straftat nicht durchschauen können. Des Weiteren werden Straftaten über das Internet als solche oftmals nicht gesehen, wenn es sich beispielsweise um einen „normalen“ Virenbefall oder entdeckten Trojaner handelt. Viele Angriffe werden auch frühzeitig durch Virens Scanner und Firewalls abgewehrt. Der Digitalverband Bitkom meldete losgelöst von den tatsächlichen polizeiaktlich vermerkten Fällen, dass in den beiden vergangenen Jahren (2015 und 2016) jedes zweite Unternehmen Opfer eines Cybercrime-Angriffs geworden ist. Der Schaden beläuft sich entgegen der Aussage des Bundeskriminalamtes auf 55 Mrd. € (vgl. bitkom 2017).

Projektion 6A - Cyberkriminalität floriert

Mittlerweile hat sich „Cybercrime-as-a-Service“ in der Gesellschaft etabliert. Dabei vernetzen sich die Täter und bieten ihre Fähigkeiten im Internet an. Dadurch können mehrschichtige Sicherheitsvorkehrungen durch die unterschiedlichen Angreifer sukzessive umgangen werden. Die Zahl der Täter ist somit in den letzten Jahren stark gestiegen, da nun keine eigenen Fähigkeiten zum Begehen einer Internetstraftat mehr nötig sind.

Es werden im „Darknet“ illegale Cyberwerkzeuge angeboten, mit denen der Käufer seine eigene Schadsoftware und Schadalgorithmen zusammenstellen kann. Im Falle einer erfolgreichen Lösegeldzahlung oder Beute erhalten die Anbieter dieser Toolkits eine Umsatzbeteiligung. „Distributed Denial of Service“ (DDoS) Angriffe sind an der Tagesordnung. Regelmäßig legen DDoS-Angriffe die Zahl- und Kaufoptionen von im Internet agierenden Dienstleistern und Verkäufern lahm. Die Anzahl und Unterschiedlichkeit dieser Angriffe steigt stärker, als die Zahl der Aufklärung solcher Fällen. Dies prognostizierte bereits das Bundeskriminalamt im Jahre 2017 als Folge des Anstiegs der Quantität und Qualität von Botnetzstrukturen (vgl. Bundeskriminalamt 2017).

Ebenso entwickeln sich die Täterprofile. Waren es anfangs noch Einzelgänger, sind es mittlerweile stark organisierte Banden. Es wurde erkannt, dass die Internetkriminalität schwerer zu durchschauen und mit einer höheren Erfolgsquote behaftet ist. Unternehmen melden kleine Internet-Delikte aus Angst des Imageschadens und Reputationsverlustes nicht, was zu einer Verfälschung der statistischen Auswertungen des Bundeskriminalamtes führt und daher Anstrengungen, die Cyberkriminalität unter Kontrolle zu bringen, nicht der tatsächlichen Bedrohungslage angepasst wurden.

Projektion 6B - Großangelegte Sicherheitsupdates

Bundesweit wird Unterricht zum richtigen und „ehrlichen“ Umgang mit digitalen Medien und Technologien verpflichtend eingeführt. Die dadurch entstehende Grundhaltung zu Internetkriminalität führt zu deren umfassenden Bekämpfung. Es wird eine junge Generation von Experten herangezogen, die im großen Stil beim Kampf gegen Internetkriminalität vorgehen.

Auch in den Unternehmen findet ein Umdenken statt. Cyberkriminalität ist die neue und anerkannte Hauptbedrohung. Unternehmen und Betroffene melden verstärkt und zeitnah Betrugsfälle, sodass Softwareanbieter schneller reagieren können. Ebenso werden die Virens Scanner und sogenannte Firewalls besser und adaptiver.

Äquivalent zur Abwrackprämie beim Autokauf wird der Bevölkerung angeboten, veraltete und nicht mehr unterstützte Betriebssysteme gegen eine gewisse Prämie abzugeben, um sich bei den teilnehmenden Herstellern neuere und sicherere Smartphones und Laptops zu kaufen. In diesem Zuge werden der Altbestand und damit auch etliche Eckpfeiler schadhafter Botnetzwerke vernichtet. Aufbauend auf der technologischen Verjüngung können dadurch programmiertechnische Kapazitäten aufgedeckt werden und in der Folge regelmäßige und großangelegte Sicherheitsupdates auf alle am Internet befindlichen Endgeräte aufgespielt werden.

6.4.9 Technologieakzeptanz

Zum besseren Verständnis der Technologieakzeptanz wird das Technologieakzeptanzmodell nach Davis (1989) herangezogen. Demnach gliedert sich die Technologieakzeptanz in die empfundene Nützlichkeit (eng.: *perceived usefulness*) und empfundene Einfachheit in der Bedienbarkeit (eng.: *perceived ease of use*). Ersteres beschreibt die Wahrnehmung darüber, in wie weit eine Technologie die Arbeit oder einen Prozess erleichtert. Letzteres beschreibt, wie einfach eine Technologie zu bedienen ist bzw. wie viel Aufwand betrieben werden muss, damit eine Technologie genutzt werden kann. Dementsprechend würde die Wahl bei zwei technologischen Anwendungen mit gleichem Zieloutput, auf die Anwendung fallen, die dem Nutzer einfacher in der Bedienung erscheint. Zu berücksichtigen ist, dass beide grundsätzlichen Bestandteile des Technologieakzeptanzmodells auf einer subjektiven Wahrnehmung beruhen.

Dementsprechend ist die Technologieakzeptanz vor dem Hintergrund der subjektiven Wahrnehmung und unterschiedlichen gesellschaftlichen Generationen zu hinterfragen. Ebenso stellt sich die Frage, wann und welche Faktoren maßgeblich die Entscheidung eines Nutzers, eine bestehende Technologie durch eine neuere zu ersetzen beeinflussen. In den folgenden Projektionen zum Schlüsselfaktor „Technologieakzeptanz“ wird versucht, diesen beiden Fragestellungen gerecht zu werden, indem die Entwicklungen in eine technologieaffine und -averse Gesellschaft, sowie eine Gesellschaft, die durch verschiedene Technologieschichten unterteilt wird, aufgezeigt werden.

Ist-Zustand

Eine im März 2013 gestartete Workshopreihe zum Thema „Technologieaufgeschlossenheit und Innovationsfreude in Deutschland“ hatte zum Ziel, die gesellschaftliche Technologieakzeptanz zu fördern und Technikbegeisterung zu entwickeln (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2014). Zur Durchführung dieses Projekts wurden die Technopolis Group und das F.A.Z.-Institut beauftragt. Übergeordnet wurde die Technologieaufgeschlossenheit und Innovationsfreude in Deutschland anhand der vier Technologiefelder „Mobilfunktechnologie“, „Nanotechnologie“, „grüne Gentechnik und „Smart Home“ bewertet (vgl. Teichler u. a. 2014). Dabei kam heraus, dass die in Deutschland lebenden Menschen aufgeschlossen gegenüber sachlichen und nutzenorientierten Argumenten bei neuen Technologien sind. Allerdings variiert diese Einstellung je nach betrachtetem Technologiefeld. Trotzdem kann eine grundsätzliche Technologieaufgeschlossenheit angenommen werden. Um diese Aufgeschlossenheit nutzen zu können, müsste eine partizipative Innovationskultur geschaffen werden, in der der Konsument und auch weitere Akteursgruppen bei der Entstehung der neuen Technologien Mitgestalter sind. Das derzeitige Format im Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsprozess müsste demnach umgestaltet werden. Das Fazit der Untersuchung zeigt auf, dass es in Deutschland an einem übergeordneten Strategieansatz zum Umgang mit der Technologieaufgeschlossenheit mangelt (vgl. Teichler u. a. 2014).

Projektion 7A - Technologiegeprägtes Leben

Die geforderte partizipative Innovationskultur wird branchenweit akzeptiert und vermehrt umgesetzt. Kunden werden verstärkt in den Innovationsprozess der Unternehmen eingebunden und was vorher im Bereich der Produktentwicklung unter *Co-Creation* bekannt war, wird nun branchenübergreifend eingeführt. Da die Ideen zur Entwicklung neuer Produkte und Technologien durch den Anwender kommen, wodurch bereits der Aspekt der empfundenen Nützlichkeit gewährleistet ist.

Die Technologieaufgeschlossenheit wirkt durch diese Form der Mitgestaltung generationsübergreifend und führt zu einem regelrechten Technologieboom. Neue Anwendungen und Technologien werden durch den Nachfrageanstieg, entfesselt durch den Kapazitätsgewinn der älteren Generation, stärker am Markt angefragt, sodass sich insgesamt eine technologieaffine Gesellschaft entwickelt.

Diese Entwicklung hat zur Folge, dass effizienzsteigernde Technologien in den Alltag integriert und durch die Gesellschaft akzeptiert sind. Aufgrund dieses starken Nachfrageanstiegs wird auch verstärkt Wert auf die Bedienfreundlichkeit der Anwendungen gelegt. Folge ist, dass die meisten Prozesse oder Anwendungen im öffentlichen und privaten Raum kaum mehr ohne technische Lösungen auskommen. Technologien bestimmen das Leben auf Schritt und Tritt und sind aus dem Alltag nicht mehr wegzudenken.

Projektion 7B - Verschiedene gesellschaftliche Technologieschichten

Die insgesamt positiven Entwicklungen im Bereich der Technologieakzeptanz und Technologieinnovationen, aber auch die negativen Entwicklungen im Bereich der Cyberkriminalität bewirken eine grobe Segmentierung der Gesellschaft in vier Gruppen. Zur ersten Gruppe zählen Menschen, die sich neue Technologien leisten können und wollen. Dazu zählt nicht nur der tatsächliche Besitz, sondern auch das Nutznießen der Technologien im öffentlichen Bereich und auch im Gesundheitswesen. Die zweite Gruppe ist ebenso technikaffin kann sich diese Technologien jedoch nicht leisten und wird somit gesellschaftlich ausgeschlossen. Die dritte und vierte Gruppe sind technologieavers. Das ist auf die steigende Kriminalitätsrate der über das Internet durchgeführten Straftaten zurückzuführen. Der Unterschied dieser beiden Gruppen liegt in der finanziellen Ausstattung und dadurch deren potentiellen Möglichkeit, am technologischen Prozess teilzunehmen. Hat Gruppe drei zwar die finanziellen Rücklagen, fehlt der vierten Gruppe das Geld, um die Technologien zu nutzen.

Die Gesellschaft ist gespalten. Einerseits wird offensichtlich, dass die Anwendung neuerer Technologien, wie beispielsweise Solarpaneldächer oder autonome Fahrzeuge das Energieproblem lösen bzw. die Fahrsicherheit erhöhen können, allerdings wird ein Großteil der Bevölkerung von dieser technologischen Entwicklung ausgeschlossen. Darüber hinaus ist das weltweite Problem der Cyberkriminalität weiterhin nicht gelöst, was viele Menschen vor einer Investition in neue Technologien zurückschrecken lässt.

Projektion 7C - Technologieaverse Gesellschaft

Die älteren Generationen können mit den neuen Technologien meist wenig anfangen. Technologie als Alltagsbegleiter in Beruf und Freizeit ist hauptsächlich bei den Jüngeren beliebt. Moderne, technologisch hochentwickelte Haushaltsgegenstände verfehlen ihre Wirkung bei den Älteren, da sie mit diesen Haushaltsgeräten nicht immer zurechtkommen und bei Ausfällen auf den technischen Support oder jüngere Familienmitglieder angewiesen sind. Darüber hinaus werden die größeren und kleineren Alltagshelfer nicht als nützlich, sondern als Spielerei und deshalb als überflüssig empfunden. Die Entwickler verpassen es, ihre Erfindungen im Sinne der Bedienerfreundlichkeit an den Bedürfnissen der Nutzer zu orientieren. Das führt in beiden Generationen zur Abkehr von komplizierten Geräten und Systemen. Ein weiterer Grund für die Abkehr von Technologien ist in den hohen Anschaffungskosten neuerer Technologien begründet. Menschen, die sich so etwas leisten können, haben sich an bestimmte Abläufe gewöhnt und sehen keinen Mehrwert in der Anschaffung. Kaufwillige können sich die neuen Technologien nicht leisten, da sie meist am Anfang ihres Lebens stehen.

6.4.10 Ladungsaufkommen/ -beschaffenheit

Für die folgenden Projektionen werden unter Ladungsaufkommen die gefahrenen Tonnenkilometer verstanden. Die Ladungsbeschaffenheit beschreibt die Ladungseinheiten (Container, Palette) und Art der transportierten Ladung (Stückgut, Schüttgut). Für die Entwicklung des Straßengüterverkehrs ist es entscheidend zu verstehen, wie sich die Transportleistung entwickelt. Jedes unnötige Fahrzeug und jeder leer fahrende oder nur halb gefüllte Lkw auf der Autobahn, Landstraße oder im Innenstadtbereich führen zu einer Überbelastung des Straßennetzes und zu einem wirtschaftlichen Schaden. Diesbezüglich ist nicht das Transportaufkommen auf deutschen Straßen von Interesse, sondern die Transportleistung, die in gefahrenen Tonnenkilometer angegeben wird. Das ist insofern wichtig zu erörtern, als dass ein voll beladener Lkw im Nahbereich im Gegensatz zum Fernbereich das Straßensystem für eine geringere Zeit belastet. In beiden Fällen werden zwar 40 t Ladung transportiert, bezüglich der Transportleistung belastet der Fernverkehr das Straßensystem stärker und hat auch höhere negative Umwelteinflüsse. Vor dem Hintergrund der Ladungsbeschaffenheit wäre es interessant zu beobachten, inwieweit es zu einem Modal-Split oder gar völligem Verkehrsträgerwechsel bei Schütt- und Stückgut kommt. Diesbezüglich hat sich die Europäische Kommission das Ziel gesetzt, den Straßengüterverkehr ab einer Entfernung von 300 km um bis zu 30% bis 2030 und um bis zu 50% bis 2050 auf andere Verkehrsträger (Schiene, Wasserstraße) zu verlagern (vgl. Europäische Kommission 2011).

Ist-Zustand

Aktuellen Zahlen zufolge wurden 2016 in Deutschland das vierte Jahr in Folge mehr Güter transportiert als im Vergleich zum Vorjahr. Damit beläuft sich das gesamte Transportaufkommen in Deutschland auf 4,6 Mrd. t in 2016. Die Transportleistung entspricht 659,9 Mrd. tkm (vgl. **Tabelle 6.9**). Dabei sollte der jeweilige prozentuale Anteil am Gesamtaufkommen bzw. der Gesamtleistung betrachtet werden. Während auf der Straße 79% und auf der Schiene 8% des gesamten Transportaufkommen verkehren, verändern sich diese Anteile auf 71% und 18% wenn die Transportleistung betrachtet wird. Die Transportleistung

ist das Produkt aus der beförderten Gütermenge und Transportweite (vgl. Hütter 2013). Wird angenommen, dass sich die beförderte Gütermenge verkehrsträgerübergreifend nicht verändert, so kann nur die Transportweite und damit der zurückgelegte Transportweg die entscheidende Begründung liefern. Es wird somit die Annahme erlaubt, dass die direkte Verbindung zwischen zwei Punkten auf der Straße kürzer ist als auf Schiene und Wasser. Ebenso ist zu beachten, dass die letztendliche Zustellung der transportierten Gütermenge per Schiene oder Wasser zum Schluss doch noch mittels Lkw an den Zielort transportiert wird.

Tabelle 6.9 Güterverkehr 2016 in Deutschland (vgl. Reim 2017)

Verkehrsträger	Transportaufkommen in Mio. t	Anteil am Gesamt-aufkommen	Transportleistung in Mrd. tkm	Anteil an der Gesamtleistung
Straße	3593,3	79%	471,8	71%
Schiene	361,3	8%	116	18%
Wasser	219,6	5%	53,2	8%
Andere	389,5	8%	18,8	3%
Gesamt	4563,9		659,9	

Im Folgenden werden auch die Beförderungsmengen nach den bedeutendsten Güterabteilungen 2014 aus Sicht des Straßengüterverkehrs für die Verkehrsträger Straße, Schiene und Binnenschifffahrt aufgezeigt, um Aussagen über die Ladungsbeschaffenheit im Straßengüterverkehr zu treffen. Anhand **Tabelle 6.10** wird ersichtlich, dass Transporte von Erzen, Steinen und sonstigen Bergbauerzeugnissen (Güterposition 1) den größten Anteil an Beförderungsmengen auf dem Verkehrsträger Straße einnehmen. Werden die einzelnen Güterpositionen näher betrachtet so fällt auf, dass es sich bei allen Positionen um Schüttgüter handelt (Ausnahme Güterposition 3). Hieraus lässt sich ableiten, dass Potential zur Verlagerung auf den Schienen- oder Wasserverkehr vorhanden ist, da Schüttgüter weniger stoß- und temperaturempfindlich sind, sowie keiner kurz- oder mittelfristigen Haltbarkeit unterliegen.

Tabelle 6.10 Beförderungsmengen in Mio. t nach Güterposition und Verkehrsträger 2014 (vgl. Hütter 2013, Kraftfahrtbundesamt 2017)

Güterposition	Straße	Schiene	Wasser
1 Erze, Steine und Erden, sonstige Bergbauerzeugnisse	943	51	56
2 Chemische Erzeugnisse, Mineralerzeugnisse (Glas, Zement, Gips, etc.)	511	43	26
3 Nahrungs- und Genussmittel	459	2	10
4 Sekundärrohstoffe, Abfälle	266	15	12
5 Metalle und Metallerzeugnisse	147	60	12

Projektion 8A - Gesunkene Beförderungsmenge

Die stetige Überbelastung des Straßennetzes führte Anfang 2020 zu einem Umdenken und der Einführung effektiver Maßnahmen. Die im Weißbuch verankerten Forderungen nach

einer Verlagerung der transportierten Gütermenge von der Straße auf andere Verkehrsträger wird langsam aber konstant umgesetzt. Zwar sind es noch nicht die geforderten 30% Transportverlagerung, dennoch sind 20% des Fernverkehrs ab 300 km Transportstrecke auf Schienen und Wasserstraßen verlagert. Dies entlastet das Straßennetz merklich.

Zusätzlich werden durch Konsolidierungsprozesse weniger Leerfahrten durchgeführt, höhere Frachtraumauslastungen erreicht und unnötige Mehrfahrten reduziert. Durch expeditionsübergreifende Kooperationen werden Frachtführer „ausgeliehen“, sodass der Rückweg über einen kleinen Umweg (aufgrund der Anlieferung an einen Kunden) nicht mehr leer stattfinden muss.

Ebenso rücken regionale Erzeugnisse wieder stärker in den Vordergrund, wodurch sich die Transportleistung merklich reduziert. Zwar sind der tatsächliche Nahrungsmittelbedarf und der Bedarf an anderen Gütern nicht gesunken, allerdings wird durch die kürzeren Lieferwege die Fahrzeit eines Lkws auf der Straße insgesamt reduziert und das Straßennetz somit entlastet. Diese Entwicklungen führen zwar nicht zu einer alle Verkehrsträger übergreifenden Reduzierung der gesamten Beförderungsmenge, senken aber durch die Verlagerung und den optimalen Ressourceneinsatz die Beförderungsmenge auf dem Verkehrsträger Straße.

Projektion 8B - Monoton angestiegene Beförderungsmenge

E-Commerce, Wettbewerbsdenken, Niedrigpreisstrategien und weitere Faktoren sorgen für eine monoton ansteigende Beförderungsleistung. Die geplante Transportverlagerung der Gütermenge auf andere Verkehrsträger als die Straße kann aufgrund mangelnder Kooperationsbereitschaft der Spediteure, Reedereien und Verantwortlichen im Schienengüterverkehr nicht im angekündigten Ausmaß umgesetzt werden.

Regionale Produkte können sich gegenüber den Massenbetrieben und global agierenden Unternehmen preislich nicht behaupten. Die Menschen sind nicht bereit, mehr Geld für die „gleiche“ Ware zu bezahlen. Folglich bestehen weite Transportstrecken zwischen den Verkaufsstätten und den Massenbetrieben und Produktionshallen.

Der Anstieg des E-Commerce führt innerorts zu einer Überlastung. KEP-Dienstleister versperren regelmäßig Fahrwege, um die Pakete zuzustellen, die sie letzten Endes aufgrund von häufig nicht erreichbaren Empfängern dann doch nicht zustellen können. Neue Zustellkonzepte werden vom Verbraucher nicht angenommen. Viele Paket-Servicestellen kündigen ihren Subvertrag mit großen KEP-Dienstleistern auf, da diese weder lukrativ noch platzmäßig in das Geschäftskonzept passen. Diese und weitere Umstände führen zu einem Anstieg der Beförderungsmenge auf der Straße und zu einer weiteren Verschärfung der ohnehin bereits angespannten Verkehrssituation.

6.4.11 Kommunikationsbereitschaft der Akteure

Beim Straßengüterverkehr sind mehrere Akteure am Transportprozess beteiligt. Dabei kommt es besonders darauf an, in wieweit die einzelnen Interessensgruppen (Spediteure, Berufskraftfahrer, Verkehrsleitzentralen, Auftraggeber, Lieferempfänger, Programmierer, Regierungsverantwortliche) miteinander kommunizieren, um dadurch einen Mehrwert für

alle Beteiligten zu generieren. Doch wodurch lässt sich die Kommunikationsbereitschaft messen? Anhand welcher Merkmale kann dieser Schlüsselfaktor beschrieben werden?

Heide und John (1992) leiteten aus ihrer Forschung drei Normen zur Beschreibung einer Abnehmer- und Zulieferbeziehung ab. Neben Flexibilität und Solidarität beschreibt auch die Form des Informationsaustausches diese Beziehung. Übertragen auf die Kommunikationsbereitschaft der Akteure im Transportprozess lässt sich diese Bereitschaft durch die von Heide und John (1992) vorgestellten Items bewerten.

Ist-Zustand

Die Kommunikationsbereitschaft ist eng verknüpft mit den Möglichkeiten der Kommunikation. Wenn ein Akteur nur über ein Festnetztelefon verfügt, so ist seine Erreichbarkeit hauptsächlich örtlich begrenzt und in direkter Linie auch seine Bereitschaft zur Kommunikation beeinflusst. Hat dieser Akteur nun auch eine Emailadresse und ein Mobilgerät, über das er unterwegs seine Emails abrufen sowie Anrufe tätigen kann, so ist er nicht nur in einem höheren Maße erreichbar, sondern auch fähig, ortsungebunden Informationen auszutauschen.

Die Art zu kommunizieren und die Bereitschaft zum Informationsaustausch haben sich in den letzten fünf Jahren verändert. Das Preisgeben von sensiblen, da persönlichen, Daten hat sich durch soziale Netzwerke und andere Internetplattformen relativiert. Es scheint üblich zu sein, seine Privatsphäre zu teilen. Die „Digital Natives“, die das neue Zeitalter der Kommunikation fest in ihren Lebensalltag integriert haben, beeinflussen durch ihren Kommunikationsstil auch das Verhalten älterer Generationen. Darüber hinaus verändern sie den Markt durch ihre steigende Kaufkraft. Angebote und Dienstleistungen passen sich dem veränderten Konsum und Medienverhalten an.

Projektion 9A - Offene Informationskultur

Soziale Netzwerke und das Mitteilungsbedürfnis der Gesellschaft sind immanenter Bestandteil des alltäglichen Lebens. Es ist üblich, zu jeder Zeit seinen Status und seinen momentanen Aufenthaltsort mitzuteilen. Kooperative Dienste ermöglichen Ortung und Statusabfrage des Kunden. Die Menschen empfinden das Teilen von persönlichen Daten als Teil eines angenehmen und effizienten Lebens. Veränderungen im Tagesablauf werden unaufgefordert und zum großen Teil automatisch an die betreffenden Interessensgruppen übermittelt, sodass eine Anpassung erfolgen kann. Ebenso werden proprietäre Informationen geteilt, gestützt durch die Annahme, diese könnten der anderen Partei dienlich sein. Gegenseitige und vor allem antizipative Beziehungspflege charakterisiert diese neue Informationskultur.

Projektion 9B - „Quid pro quo“ Informationskultur

Die zwischenmenschlichen Beziehungen charakterisieren sich durch funktionierende informative Verbindungen. Beziehungen werden solange aufrecht erhalten, wie dienliche Informationen in einer sich fördernden Struktur übertragen werden. Interessensgruppen werden über Änderungen im Tagesablauf informiert, wenn es dem eigenen Zweck dient. Insgesamt werden geschäftliche Aktivitäten nach strikten Vereinbarungen durchgeführt. Gegenseitiges

Vertrauen muss erarbeitet werden. Langjährige Beziehungen basieren auf guter Zusammenarbeit, verpflichten jedoch nicht zur Solidarität.

Projektion 9C - Abkehr von Informationsoffenheit

Die Kommunikationsbereitschaft der Interessensgruppen hängt am seidenen Faden. In sozialen Netzwerken wird viel Negatives geschrieben. Unternehmen geraten schneller und häufiger in sogenannte „Shitstorms“. Zwischenmenschliche Beziehungen sind durch Misstrauen und Missgunst charakterisiert. Informationen werden nur geteilt, wenn es dem eigenen Vorteil dient. Da solche Informationen allerdings nur auf Anfrage geteilt werden, ist davon auszugehen, dass dadurch kein eigener Nutzen entsteht, sodass solche Anfragen ignoriert werden. Jeder ist auf sich allein gestellt. Gute unternehmerische Beziehungen kommen nur noch selten vor. Vereinbarungen gestalten sich schwierig, da klare und präzise abgegrenzte Informationsstrukturen aufgebaut werden müssen. Ein Über- oder Unterschreiten dieser Informationsgrenzen führt zwangsläufig zu einer Übervorteilung einer Kontraktseite. Dienliche Informationen für den Kontraktpartner werden zurückgehalten oder nur auf Anfrage geteilt.

6.4.12 Verkehrsfluss

Die kleinen und mittleren Unternehmen sind das Rückgrat der wirtschaftlichen Erfolgsgeschichte Deutschlands. Diese hauptsächlich im produzierenden Gewerbe tätigen Unternehmen benötigen für die An- und Auslieferung ihrer Produkte eine gut ausgebaute Straßeninfrastruktur. Über Anlieferkonzepte wie „Just-in-Time“ wird das Lager geschont und es werden Kosten gespart. Dieses Anliefer- sowie Produktionskonzept funktioniert nur, wenn das Straßensystem eine normale, verzögerungsfreie Anlieferung gewährleisten kann. Während das bei kurzen Transportwegen noch gut zu gewährleisten ist, wird eine pünktliche Lieferung bei Fernverkehr schon schwieriger. Gründe für mögliche Verzögerungen liegen in Baustellen, Unfällen, Verkehrssituationen auf der Autobahn, riskante Überholmanöver von Lkw oder einfach kapazitative Engpässe. Gerade bei städtischen Ein- und Ausfahrten kommt es kapazitäts- und ampelbedingt zu einem Rückstau, der sich über die Autobahnausfahrt bis zur Autobahn erstrecken kann.

Solche Rückstaus ergeben sich allerdings nicht nur auf Autobahnausfahrten, sondern auch innerorts zu den Hauptverkehrszeiten. Dazu zählen die morgendliche und abendliche „Rush hour“ sowie durchgängig die Urlaubssaison. Zu diesen Zeiten sind längere Anliefer- und Durchfahrtszeiten zu berücksichtigen. Neben dem daraus entstehenden Verzugschaden werden auch höhere Lärm- und Abgaswerte freigesetzt. Der Verkehrsfluss ist demnach ein wichtiger, den Straßengüterverkehr beeinflussender Faktor.

Ist-Zustand

Die aktuelle Situation zum Verkehrsfluss in Deutschland lässt keine gute Entwicklung erahnen. Laut der Staubilanz 2017 vom ADAC hat sich die Anzahl gemeldeter Staus 2014 von 475.000 Staumeldungen um 52% auf 723.000 Staumeldungen in 2017 erhöht. Die Vermutung, es könne sich dabei um mehr „kleinere“ oder kaum die Fahrzeit beeinflussende Staus handeln, kann mit der statistischen Aussage über die gemeldeten Staustunden widerlegt

werden: Demnach haben sich die gemeldeten Staustunden 2014 von 285.000 um 60% auf 457.000 Staustunden in 2017 erhöht (vgl. Hölzel 2018). Weiterhin muss in den Großstädten Deutschlands eine um 30% längere Fahrzeit gegenüber staufreiem Verkehr eingeplant werden (vgl. TomTom 2017). Die drei staulängsten Bundesländer sind Nordrhein-Westfalen (454.907 km), Bayern (282.707 km) und Baden-Württemberg (195.001 km) (vgl. Hölzel 2018).

Projektion 10A – Verkehrskollaps

Die Verkehrssituation hat sich seit der ADAC Staubilanz von 2017 und dem INRIX Global Traffic Scorecard von 2016 nicht zum Besseren gewendet. Trotz zahlreicher weiterer Studien, die allesamt dasselbe desaströse Ergebnis liefern, werden nur halbherzige Versuche seitens der Politik unternommen, dem weiteren Anstieg der jährlichen Stauzahlen und verschwendeten Staustunden Herr zu werden. Der Ausbau des Straßensystems und damit der Versuch, über bauliche Maßnahmen Kapazitäten zu schaffen, wird nur mit noch mehr Verkehr seitens der Bevölkerung beantwortet. Überlastete Streckenabschnitte werden von vielen Autofahrern zwar eine Zeitlang aufgrund besserer Fahralternativen (Bus, Bahn oder Umfahrung des Streckenabschnittes) bewusst nicht mehr genutzt. Durch den Ausbau betroffener Streckenabschnitte werden diese jedoch wieder attraktiver, sodass nach einigen Monaten eine ähnliche Stausituation wie vor dem Ausbau entsteht.

Öffentliche Beförderungs- und Alternativangebote im Innenstadtbereich können sich nicht durchsetzen. Trotz der längeren Fahrtzeiten wird der Arbeitsweg weiterhin mit dem eigenen Pkw bewältigt. Niemand möchte Komfort und Selbstbestimmung einbüßen und auf öffentliche Verkehrsmittel umsteigen. Die Folge sind zähfließender Verkehr im Innenstadtbereich, höhere Lärm- und Abgaswerte sowie längere Fahrtzeiten.

Projektion 10B - Freie Fahrt

Das grundsätzliche Problem hinter dem jährlich steigenden Stauaufkommen wird in der Ökonomie gesehen. Da die Straßennutzung „nichts“ kostet, wird die Straße nach Belieben für den persönlichen Zweck genutzt. Erst nachdem mit einer großen Kampagne auf die jährlichen Stauzahlen aufmerksam gemacht, der jährliche wirtschaftliche Schaden auf den Arbeitnehmer heruntergebrochen und der Schaden somit „greifbarer“ gemacht wird, kommt es zu einem allmählichen Umdenken. Es werden verstärkt Fahrgemeinschaften angeboten und für längere Strecken steigt man auf Schienen- und Busangebote um. Darüber hinaus wird auf bestimmten, stark überlasteten Streckenabschnitten eine Nutzungsgebühr erhoben, sodass diese Abschnitte nur noch durch die Verkehrsteilnehmer befahren werden, die nicht auf Alternativen zurückgreifen können. Diese zahlreichen Veränderungen und Kampagnen führen sogar zu einer wirtschaftlichen Stärkung des Landes und zu einer zufriedeneren Gesellschaft. Aufgrund der kürzeren Fahrzeiten kann Kraftstoff eingespart werden, was dem ökologischen Gedanken entgegen kommt. Ebenso wird durch die kürzere Fahrzeit mehr Freizeit geschaffen, was den sozialen Gedanken verstärkt. Und da auch das Transportgewerbe effizienter transportiert, verankert sich die Veränderung auch nachhaltig in den Köpfen der Bevölkerung.

Projektion 10C - Intelligente Verkehrsführung

Die Verkehrssituation ist Anfang 2020 sehr angespannt. Trotz offensichtlicher wirtschaftlicher Schäden durch Staustunden und unnötigen Kraftstoffverbrauchs aufgrund langer Warte- und Fahrtzeiten, ist der motorisierte Individualverkehr nicht bereit, sich von „seinem“ Auto zu trennen. Allerdings tritt zu diesem Zeitpunkt auch die intelligente Verkehrsführung ins Rampenlicht. Erste autonome Fahrzeuge sorgen mit ihrer Pioniereigenschaft für eine Sogwirkung auf intelligente Lösungen für das Kapazitätsproblem im Straßensystem. Besitzer intelligenter Routenführungssysteme umfahren größere Staus präventiv und kommen dadurch schneller an ihr Ziel. Adaptive Fahrerassistenzsysteme werden nun serienmäßig in neuere Modelle eingebaut. Dadurch kann ein Hauptgrund für Staus, das abrupte Beschleunigen und Abbremsen, um den Sicherheitsabstand zum Vorderfahrzeug zu halten, reduziert werden. Das Anbieten und Annehmen von Fahrgemeinschaften ist nun anwenderfreundlicher und führt damit zu einer Entlastung des Straßensystems. Solche Fahrgemeinschaften werden seitens der Arbeitgeber gefördert, da sie sich wirtschaftlich für alle Unternehmen rentieren. Denn kürzere Fahrzeiten sorgen für mehr individuelle Freizeit, finanzielle Einsparungen und, durch das geringe Verkehrsaufkommen, für entspannte Gemüter. Der Trend zum Einsatz intelligenter Systeme wird weiter aufrechterhalten, sodass die Entwicklung trotz ansteigender Transportleistung und gleichbleibender Straßenkapazität positiv bleibt.

6.4.13 Wirtschaftliche Entwicklung

Die Veränderung der wirtschaftlichen Lage eines Landes wird durch die wirtschaftliche Entwicklung beschrieben. Diese ist wiederum von ganz konkreten Faktoren abhängig: Nach der klassischen Wachstumstheorie sind es eine freie Marktwirtschaft, Arbeitsteilung und die Faktorproduktivität (vgl. Smith 1778). In den 1950er Jahren wurde dann das klassische durch das neoklassische Wachstumsmodell ersetzt, welches die Arbeitsproduktivität, Vermögensaufbau und technologischen Fortschritt als Hauptfaktoren für die wirtschaftliche Entwicklung sah, wobei langfristiges wirtschaftliches Wachstum nur über technologischen Fortschritt zu erzielen sei (vgl. Solow 1956). Anfang der 1980er Jahre wurde die endogene Wachstumstheorie entwickelt. Diese entgegnete der Kritik, dass die neoklassische Theorie das wirtschaftliche Wachstum durch exogene Faktoren (bspw. technischer Fortschritt oder Anstieg des Humankapitals) beschreibt, indem sie die Investition in Bildung und Innovationen als endogenen Bestandteil eines wirtschaftlichen Wachstums festsetzte (vgl. Romer 1986). North (1991) erweiterte diesen Rahmen um Anreizstrukturen und Institutionen, die diese Bereiche maßgeblich beeinflussen. Institutionen bedeuten hierbei von Menschen geschaffene Regeln um das politische, ökonomische und soziale Geschehen zu strukturieren und erwartbar zu gestalten. Insofern sind die gesellschaftlichen Regeln ebenfalls ein Faktor der wirtschaftlichen Entwicklung eines Landes. Für die weitere Vergleichbarkeit und Projektionserstellung des Einflussfaktors „Wirtschaftliche Entwicklung“ wird das Bruttoinlandsprodukt (BIP) als Merkmal aufgegriffen und fortgeschrieben. Zusätzlich werden aktuelle wirtschaftspolitische und geopolitische Aspekte aufgegriffen.

Ist-Zustand

Im Jahreswirtschaftsbericht 2017 für inklusives Wachstum in Deutschland und Europa wird für das Jahr 2016 von einer insgesamt positiven wirtschaftlichen Verfassung berichtet. Das Bruttoinlandsprodukt ist gegenüber dem Vorjahr (2015) um 1,9% (preisbereinigt) gestiegen und wird fortgeschrieben auf das Jahr 2017 um weitere 1,4% steigen. Die Zahl der versicherungspflichtigen Erwerbstätigen belief sich 2016 auf 43,5 Millionen. Gegenüber 2013 ist dies eine Erhöhung um rund 1,5 Millionen und im Vergleich zu 2005 um mehr als vier Millionen (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2017). Damit lag die Arbeitslosenquote 2016 bei 6,1% (vgl. Bundesagentur für Arbeit 2017) und bildet die niedrigste Arbeitslosenquote seit der Wiedervereinigung. Die 2011 festgelegte Schuldenregel gewährte eine maximal zulässige Nettokreditaufnahme von 0,35% vom Bruttoinlandsprodukt. Wegen der Belastungen der Wirtschafts- und Finanzkrise zum Startzeitpunkt dieser Regelung wurde die Einhaltung dieser Regel ab dem 1. Januar 2016 festgelegt. Aufgrund der positiven wirtschaftlichen Entwicklung ergab sich ein leichter struktureller Überschuss von 0,8 Mrd. € bzw. 0,03% des BIP für das Jahr 2016 und somit eine Einhaltung der Schuldenregel (vgl. Bundesministerium der Finanzen 2017). Diese gute Lage des öffentlichen Haushaltes ermöglicht es dem Staat, weitere Ausgaben für Konsum und Investitionen zu tätigen. Des Weiteren wurde im August 2016 der Bundesverkehrswegeplan beschlossen, der für die nächsten 15 Jahre eine Finanzierung von etwa 1.000 Projekten mit einem Gesamtvolumen von 270 Mrd. € fördert (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2017). Dieser Finanzierungsplan lässt auf eine positive strukturelle Entwicklung des physischen Verkehrsnetzes schließen und unterstützt durch eine leistungsstarke Verkehrsinfrastruktur die wirtschaftliche Entwicklung.

Projektion 11A - Effizienzstandort Deutschland

Die deutsche Wirtschaft wird als Aushängeschild wirtschaftlicher Entwicklung angesehen und wächst solide. Es ist kein Abbruch des stetigen Aufwärtstrends absehbar. Das BIP steigt seit 2017 kontinuierlich an. Viele Einflussfaktoren sind für diese Entwicklung verantwortlich: Außenpolitisch haben sich die Nachfragemärkte durch die protektionistische Wirtschaftspolitik vergangener Präsidenten und Despoten erholt und zu einem Nachfrageanstieg nach deutscher Ware geführt. „Made in Germany“ war und ist immer noch ein Qualitätsmerkmal. Rein rechnerisch übersteigen Deutschlands Exporte seine Importe, was vorteilhaft für das produzierende Gewerbe ist. Weitere außenpolitische Strömungen, wie der endgültige Ausstieg Großbritanniens aus der europäischen Union, beeinflussen die Handelspartner nur moderat. Insgesamt ist die europäische Union eine wirtschaftliche Lokomotive mit Deutschland als Lokführer. Zwar wachsen die europäischen Länder heterogen, nähern sich einander aufgrund internationaler Kooperationen jedoch stetig an, was zu konstanten Wachstumserwartungen führt. Über den Projektionszeitraum herrscht ein konstanter Wechselkurs. Der die Marktwirtschaft stark beeinflussende Ölpreis der Sorte Brent steigt bis 2020 um ca. 60% an und wird dann durch die Akquise reicher antarktischer Ölfelder gehalten. Dies hält den Preis für Energiegüter nach 2020 konstant. Diese sichere Ausgangslage, sowie die anhaltend günstigen Finanzierungsbedingungen der europäischen Zentralbank lassen Unternehmen stärker investieren, was wiederum in einem wirtschaftlichen Wachstum resultiert.

Die expansiv ausgerichtete deutsche Fiskalpolitik (z. B. Durchsetzung des Mindestlohns in allen Branchen und Steuerentlastungen) führt zu günstigen Rahmenbedingungen für die privaten Haushalte. Diese können durch die gestiegenen realen Nettolöhne und -gehälter je Arbeitnehmer ihren Konsum ausweiten, was zu einer anhaltenden positiven Anschaffungsneigung seitens der Verbraucher und somit zu einer positiven wirtschaftlichen Wechselwirkung führt.

Der zwischen den Jahren 2015 und 2018 anhaltende Zuwanderungsdruck konnte in den darauffolgenden Jahren absorbiert und in positives Potential für den Arbeitsmarkt umgewandelt werden. In den Folgejahren wirkt sich dies in einer höheren Erwerbstätigkeit aus, dies zeigen auch einschlägige Indikatoren, wie eine geringe Anzahl offener Stellen und das ifo Beschäftigungsbarometer. Die Beschäftigungsdynamik auf dem Arbeitsmarkt verbessert sich stetig. Zudem wirkt die verstärkte Migration dem demografischen Wandel entgegen. Der Arbeitsmarkt ist sowohl Ergebnis, als auch Grundlage einer wachsenden wirtschaftlichen Entwicklung (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2017).

Die insgesamt förderlichen Umweltbedingungen für den deutschen Wirtschaftsraum führen zur Ausweitung investiver Ausgaben. Dazu zählen Investitionen in eine verbesserte Schulinfrastruktur, Forschung und Entwicklung, sowie Software und Datenbanken. Unternehmen begrüßen diese Entwicklung und rüsten sich ebenfalls für die zunehmende Digitalisierung.

6.4.14 Umweltfaktoren

Unter dem Schlüsselfaktor *Umweltfaktoren* werden in dieser Ausarbeitung drei miteinander in einer Ursache-Wirkung stehende „Konstrukte“ verstanden, die den klimatischen Wandel vorantreiben: „Fossile Brennstoffe“, „Abgasemissionen“ und der „Treibhauseffekt“. Kurz zusammengefasst auf die verständlichste Ebene könnte der Wirkzusammenhang folgendermaßen erklärt werden: Zur Energiegewinnung werden fossile Brennstoffe wie Öl oder Kohle verbrannt. Die Folge sind gesundheits- und klimaschädigende Abgase (z. B. CO₂, CH₄), die zur Aufheizung der Erdatmosphäre beitragen (Treibhauseffekt). Dieser Wirkzusammenhang kann zu einer Reihe an Maßnahmen führen, in Abhängigkeit des Angriffspunktes. Beispielsweise könnten fossile Brennstoffe durch erneuerbare Energien ausgetauscht werden. Es könnten gesetzlich vorgeschriebene Filter bei allen Verbrennungsmotoren vorgeschrieben werden. Ebenso wären große Luftfilteranlagen denkbar, um dem Treibhauseffekt gegenzusteuern und die Luft zu verbessern (vgl. Chen 2018).

Für die Projektionserstellung werden in dieser Ausarbeitung verstärkt Auswirkungen auf den Straßengüterverkehr thematisiert. Eine vollständige Untersuchung würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Politikszenerarien für den Klimaschutz wurden bereits vom Umweltbundesamt in Auftrag gegeben. Hier wurden ebenso Maßnahmen über den gesamten Energiesektor erarbeitet (vgl. Repenning u. a. 2016). Diese Maßnahmen haben indirekt eine Auswirkung auf die Nutzung von ITS, da ITS in der Quintessenz einen optimalen Ressourceneinsatz und Kraftstoffeinsparungen bedeuten und diese benötigt werden, um die aufgestellten Klimaschutzziele aus dem Energie- und Klimaschutzprogramm aus dem Jahr 2007 einzuhalten.

Ist-Zustand

Für die klimatischen Veränderungen seit Anfang des 20. Jahrhunderts ist der Mensch durch sein Handeln verantwortlich (vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change 2014a). Die Veränderungen zeigen sich in der gestiegenen durchschnittlichen Erdoberflächentemperatur, in der Erwärmung der Ozeane, in den schmelzenden Polarkappen und Verkleinerung der Eisflächen (Kryosphäre¹⁶), im Anstieg des Meeresspiegels und Versäuerung des Meeres (vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change 2014b). Die von den Menschen bewirkten Veränderungen haben eine Diskussion entstehen lassen, ob durch diese Veränderungen eine neue Epoche, das „Anthropozän“, begonnen hat (vgl. Ludwig und Steffen 2018).

Maßgeblich für den anthropogenen Klimawandel sind erhöhte Schadstoffwerte in der Atmosphäre. Kurzwellige Sonnenstrahlen werden „durchgelassen“ während langwellige Erdwärme von der mit Schadstoffen angereicherten Atmosphäre reflektiert wird, was zu einer Erwärmung der Erdoberfläche führt und somit die oben angeführten Auswirkungen zur Folge hat. Folgende aktuelle Kennwerte der Klimawandeldiskussion stammen, wenn nicht anders angegeben, aus dem Buch „Climate Change 2013: The Physical Science Basis“ herausgegeben vom *INTERGOVERNMENTAL PANEL on climate change* (IPCC).

Die weltweite durchschnittliche Temperatur, gemessen an der Wasser- und Landoberfläche, ist seit 1880 bis 2012 um 0,85° C gestiegen. Die letzten drei Jahrzehnte waren insgesamt wärmer als die vorherigen Jahrzehnte ab 1850. Der erhöhte weltweite Energiehaushalt (durch Reflexion der langwelligen Wärmestrahlung) wurde zu 90% von den Weltmeeren aufgenommen. Im Durchschnitt haben sich die oberen 75 m der Wasseroberfläche um 0,11° C erhöht. Dieser Temperaturanstieg hat zum kontinuierlichen Schmelzen der Kryosphäre und zum Anstieg des Meeresspiegels von 1901 bis 2010 um 0,19 m geführt, was einen durchschnittlichen Meeresspiegelanstieg um 1,7 mm jährlich bedeutet. Allerdings lag der jährliche Meeresspiegelanstieg in den Jahren 1993 bis 2010 bei 3,2 mm, wodurch klar wird, dass die Kryosphäre in den letzten Jahrzehnten schneller schmilzt. Die atmosphärische Konzentration von Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) sind so hoch, wie seit 800.000 Jahren nicht mehr. Seit Eintritt in das Industriezeitalter erhöhte sich der CO₂-Anteil um 40%, was hauptsächlich auf die Verbrennung von fossilen Kraftstoffen und Massentierhaltung zurückzuführen ist. Die Weltmeere haben rund 30% des vom Menschen emittierten Kohlendioxids absorbiert, was zu einer Versäuerung der Weltmeere geführt hat.

Laut der statistischen Auswertung von British Petroleum (2016) bezüglich der vorhandenen und potentiellen fossilen Energiereserven von 2016 sind nach dem weltweiten Energiebedarf von 2015 noch Öl für die nächsten 54 Jahre, Erdgas für die nächsten 64 Jahre und Kohle für die nächsten 112 Jahre vorhanden. Ein Jahr später wurden diese Vorhersagen anhand neu hinzugekommener Ressourcen und angepasster Energiebedarfe neu prognostiziert: Demnach würde Öl nun nur noch für die nächsten 50,6 Jahre (-3,4 Jahre gegenüber 2016) rei-

¹⁶ Unter Kryosphäre wird die Gesamtheit des festen Wassers (Eis) auf der Erde verstanden.

chen, Erdgas mindestens für die nächsten 50 Jahre (-14 Jahre gegenüber 2016) und Kohle für 153 Jahre (+41 Jahre gegenüber 2016) (vgl. British Petroleum 2017).

Projektion 12A - Klimaschutz wird zu Nebensache

Europäische und besonders deutsche Bemühungen zur Umsetzung des Kyoto-Protokolls und der gesetzten Energie- und Klimaschutzziele finden Beachtung, haben allerdings keinen großen Einfluss auf die globale Erwärmung, da Schwellenländer wie Indien, China oder Brasilien weiterhin auf ungefilterte fossile Verbrennungsmotoren setzen. Dadurch stellt sich die Frage, warum der deutschen Industrie teure Auflagen zur Einhaltung der 2°C Obergrenze auferlegt werden und dadurch der Steuerzahler und die Unternehmen stärker belastet werden und in anderen Teilen der Welt die dadurch erbrachte Emissionsreduzierung durch schlechte oder nicht vorhandene Emissionsvorgaben wieder zunichte gemacht wird.

Aufgrund dieses grundsätzlichen Paradoxons und der zurückhaltenden gesellschaftlichen Investitionsneigung hin zu nachhaltigen Fortbewegungsmitteln, ist sich die deutsche Automobilindustrie uneinig, in welche Richtung sie sich entwickeln wird. Das führt zu einer Stagnation im Umgang mit Elektrofahrzeugen und dem Bau einer dringend benötigten Ladesäuleninfrastruktur. Hier lautet die gängige Meinung, Ladesäulen müssten nicht gebaut werden, solange sie nicht benötigt werden.

Projektion 12B - Hohe Umweltauflagen

Das internationale Klimaziel, die globale Erwärmung bis 2050 unter 2°C seit Beginn der Industrialisierung zu halten, hat zu verschärften Maßnahmen geführt. Zunächst wird Anfang der 2020er Jahre auf eine Subventionierungsmaßnahme gesetzt, die den Umstieg auf Fortbewegungsmittel, die mit erneuerbaren Energien betrieben werden. Kurze Zeit später erkennen die Regierungsverantwortlichen, dass dies nicht genügend zum Umstieg motiviert. Größeren Unternehmen werden mit Auflagen verpflichtet, einen gewissen Prozentsatz ihrer Fortbewegungsmittel umzurüsten, es folgen KMUs und zu guter Letzt die Endverbraucher.. Andernfalls würden hohe Strafgebühren zu zahlen sein. Unter den sogenannten Umstiegsvorgaben werden prozentuale Mindestwerte für den Einsatz von Elektro- oder Wasserstoffverbrennungsmotoren festgelegt. Diese Vorgaben finden zuerst in der Intralogistik Anwendung und gehen anschließend auf die Supply Chain Partner über. Den Unternehmen werden Subventionen in Aussicht gestellt, wenn diese Mitarbeiterförderprogramme zum Umstieg auf elektro- oder wasserstoffbetriebene Fahrzeuge entwickeln, um den Energiewandel voranzutreiben.

Projektion 12C - Verknappung der fossilen Brennstoffe

Im Laufe der Jahre werden die Vorhersagen von British Petroleum in ihren jährlich erscheinenden Berichten bezüglich der weltweiten Energiereserven durch neue Messmethoden immer genauer. Die drei großen fossilen Brennstoffreserven (Öl, Erdgas und Kohle) werden neu berechnet und die vorhergesagte Reichweite der Energieversorgung verringert sich abermals. Zusätzlich wächst der weltweite Energiebedarf stärker, als in den anfänglichen Jahren vermutet.

Ein Umstieg von fossilen Brennstoffen auf nachhaltige Energiequellen muss aufgrund der Verknappung der Energiereserven gezwungenermaßen beschleunigt werden. Da es langfristig gesehen keine andere Alternative zu erneuerbaren Energiequellen gibt, muss die deutsche Wirtschaft von sich aus Maßnahmen zum Umstieg einleiten.

6.5 Entwicklung konsistenter ITS-Szenarien

6.5.1 Projektionsbündelung

Die vierte Phase der Szenarioanalyse beinhaltet die Szenario-Bildung. Die entwickelten Projektionen aus dem Vorkapitel sind in **Tabelle 6.8** zusammenfassend aufgeführt. Mithilfe der Software INKA 3 wurde nun eine Konsistenzeinschätzung durchgeführt. Dabei wurde bewertet, wie gut zwei Projektionen in einem möglichen Szenario zusammenpassen. Die Beziehungen wurden auf einer Skala von -3 bis +3 bewertet. **Tabelle 6.11** zeigt die Bewertungsskala mit der dazugehörigen Bedeutung.

Tabelle 6.11 Bewertungsskala der Konsistenzmatrix (vgl. Schwarz-Geschka 2010)

Beschreibung	Bewertung
Gehört zwingend zusammen und bedingt sich gegenseitig	+3
Unterstützen sich gegenseitig	+2
Passen ins gleiche fördernde Klima	+1
Kein Zusammenhang erkennbar (friedliche Koexistenz möglich)	0
Passen schlecht zusammen	-1
Widersprechen sich	-2
Schließen sich gegenseitig aus	-3

Um die Konsistenzeinschätzung zu objektivieren, wurde die Konsistenzmatrix insgesamt viermal von vier unabhängigen Personen aus dem akademischen Bereich ausgefüllt. Die vom Autor ausgefüllte Konsistenzmatrix wurde anschließend mit den drei anderen Konsistenzeinschätzungen, sowie mit dem Durchschnitt aus allen vier Konsistenzeinschätzungen verglichen. Wenn die Differenz zwischen der Autoreneinschätzung und der Konsistenzeinschätzung der anderen drei Matrizen absolut größer als „2“ war, so wurde die Konsistenzeinschätzung diskutiert und gegebenenfalls angepasst. Schlussendlich wurde eine objektive, auf Basis von vier unabhängigen Teilnehmern durchgeführte Konsistenzeinschätzung durchgeführt.¹⁷ Die Auswertung der Konsistenzmatrix wurde mithilfe von INKA 3 durchgeführt und ist in **Tabelle 6.12** zu sehen. In der ersten Zeile sind 13 ermittelte Szenarien zu sehen. In der zweiten Zeile sind die jeweiligen Szenario-Konsistenzwerte angegeben. Die Tabelle ist so zu lesen, dass ein Projektionsbündel (Rohszenario) durch die in der Spalte angegebenen Schlüsselfaktorenprojektion charakterisiert sind. Für die genaue Zuordnung der Buchstaben der einzelnen Schlüsselfaktoren ist auf **Tabelle 6.8** verwiesen. Wie bereits im Einleitungsteil erklärt, fehlt

¹⁷ Die Konsistenzeinschätzungen können im elektronischen Anhang H eingesehen werden.

hier die Auflistung des elften Schlüsselfaktors („Wirtschaftliche Entwicklung“), da dieser unkritisch ist, nur aus einer Projektion besteht und somit in allen Szenarien enthalten ist.

Die Konsistenzsumme wird aus allen Konsistenzeinschätzungen der Projektionen aus der Konsistenzmatrix ermittelt. Bei Szenario 1 bis 4 ist eine gleiche Konsistenzsumme zu erkennen, was bedeutet, dass diese vier Szenarien gleich konsistent sind. Bei genauerem Hinsehen kann erkannt werden, dass bei diesen vier Szenarien jeweils die Schlüsselfaktoren 3 („Politische Rahmenbedingungen“) und 12 („Umweltfaktoren“) variieren. Das bedeutet, dass alle anderen Schlüsselfaktoren gut mit einer der beiden Projektionen 3B („Volatile Regierungsentscheidungen“) oder 3C („Hohes Vertrauen in die Regierung“) sowie mit einer der beiden Projektionen 12B („Hohe Umweltauflagen“) oder 12C („Verknappung der fossilen Brennstoffe“) in ein konsistentes Zukunftsbild passen. Im Folgenden werden für die Ermittlung der ausgewählten Szenarien Auswahlkriterien festgelegt.

Tabelle 6.12 Auswertung der Konsistenzmatrix und Bestimmung der konsistentesten Projektionsbündel

Szenario:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Konsistenzsumme:	59	59	59	59	51	50	50	47	47	43	40	36	31
Schlüsselfaktor:													
1	B	B	B	B	B	B	B	A	A	B	B	B	B
2	C	C	C	C	C	B	C	A	A	C	C	C	C
3	C	C	B	B	C	A	B	A	A	B	C	C	C
4	B	B	B	B	B	A	B	A	A	B	B	B	B
5	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	B
6	B	B	B	B	B	A	B	A	A	B	B	B	B
7	A	A	A	A	A	B	B	C	C	A	B	C	C
8	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A
9	A	A	A	A	A	C	B	C	C	A	A	A	A
10	C	C	C	C	B	A	C	A	A	A	B	C	B
12	C	B	C	B	C	A	C	A	A	C	C	C	B

6.5.2 Auswahl der Rohszenarien

Die Auswahl der Rohszenarien erfolgt anhand des Konsistenzwertes eines Projektionsbündels. Im vorliegenden Fall ergab die Konsistenzeinschätzung vier gleich hohe Konsistenzsummen für die Projektionsbündel eins bis vier (vgl. **Tabelle 6.12**), sowie neun weitere Projektionsbündel mit hohen Konsistenzwerten. Als Ausgangspunkt für die Bewertung der Szenarien werden die in **Kapitel 5.4.4** dargestellten Gütekriterien herangezogen. Bei der Auswahl der in Frage kommenden Rohszenarien aus **Tabelle 6.12** wurde besonders auf die Unterschiedlichkeit der Szenarien geachtet. Vor diesem Hintergrund wurde neben dem Konsistenzwert auch die Anzahl unterschiedlicher Projektionen zwischen den Szenarien betrachtet. Das untere hellgrau eingefärbte „Dreieck“ in **Tabelle 6.13** ist die Spiegelung des oberen Dreiecks. Die Zahlen in den Zellen geben an, wieviel unterschiedliche Projektionsausprägungen zwischen dem Szenario aus der Spalte und dem Szenario aus der Zeile vorhanden sind.

Tabelle 6.13 Anzahl unterschiedlicher Projektionsausprägungen im Vergleich

Szenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1		1	1	2	1	8	3	9	10	2	2	1	5
2	1		2	1	2	8	4	9	10	3	3	2	4
3	1	2		1	2	8	2	9	10	1	3	2	6
4	2	1	1		3	8	3	9	10	2	4	3	5
5	1	2	2	3		8	4	9	10	2	1	2	4
6	8	8	8	8	8		7	3	4	7	7	8	10
7	3	4	2	3	4	7		9	10	3	3	3	7
8	9	9	9	9	9	3	9		1	8	9	8	10
9	10	10	10	10	10	4	10	1		9	10	9	9
10	2	3	1	2	2	7	3	8	9		3	3	6
11	2	3	3	4	1	7	3	9	10	3		2	4
12	1	2	2	3	2	8	3	8	9	3	2		4
13	5	4	6	5	4	10	7	10	9	6	4	4	

Für die Wahl des ersten Szenarios wurde die höchste Konsistenzsumme herangezogen. Wie bereits angemerkt, haben die ersten vier Szenarien eine gleich hohe Konsistenzsumme. **Tabelle 6.12** ist außerdem zu entnehmen, dass es sich bei diesen vier Szenarien um ähnliche Projektionsbündel handelt. Diesem besonderen Umstand wird bei der Formulierung des ersten Szenarios Rechnung getragen. Um möglichst beiden Extrempolen des Zukunftshorizontes gerecht zu werden, wird als nächstes Auswahlkriterium die höchste Unterschiedlichkeit zum ersten Szenario betrachtet. **Tabelle 6.13** ist zu entnehmen, dass es sich dabei um Szenario 9 handelt. Letztlich bleibt noch die Wahl eines dritten Szenarios vorzunehmen. Um hier ebenfalls ein möglichst konsistentes Szenario auszuwählen und auch dem Kriterium der Unterschiedlichkeit gerecht zu werden, fällt die Wahl auf ein Szenario das zu dem ersten und neunten Szenario möglichst viele Unterschiede in der Projektionsausprägung und gleichzeitig eine hohe Konsistenz aufweist. In die nähere Auswahl gelangen somit Szenario 6 und 13. Zwar hat Szenario 13 in Summe zu Szenario 1 und 9, 14 unterschiedliche Ausprägungen, wohingegen Szenario 6 nur 12 unterschiedliche Ausprägungen hat, allerdings weist Szenario 6 im Vergleich zu Szenario 13 eine mehr als 60% höhere Konsistenz auf, was dem Gütekriterium der Glaubwürdigkeit stärker gerecht wird. Insofern wird als drittes Projektionsbündel Szenario 6 gewählt.

Im Folgenden findet eine kreative Darstellung der Projektionsbündel in Form von drei ausformulierten Szenarien statt. Für ein genaueres Verständnis der einzelnen Projektionen sei auf **Kapitel 6.4** verwiesen, in dem die verschiedenen Schlüsselfaktorenausprägungen detailliert projiziert wurden. Zusätzlich wurde für alle verwendeten Projektionen ein Icon erstellt und in zusammenfassender Form je Szenario in einer Abbildung dargestellt (s. **Abbildung 6.7**, **Abbildung 6.8** u. **Abbildung 6.9**).

6.5.3 Szenario I – Zeitalter der Effizienz

Im Laufe der Jahre wird der Verschwendung der Kampf angesagt. Es herrscht die Erkenntnis, dass wirtschaftliches Wachstum nicht zu Lasten der kommenden Generation erzielt werden darf. Laut letzten Hochrechnungen bezüglich der Reichweite fossiler Brennstoffe ist ein jähes Ende abzusehen und viel näher als vor 10 Jahren in 2020 noch angenommen (12C). Ebenso werden parallel zu BPs Aussagen hohe Umweltauflagen für Unternehmen, aber auch für den privaten Sektor seitens der Regierung auferlegt (12B). Dieser Umstand beschleunigt den Energiewandel und auch die unternehmerische Grundhaltung zur Kooperation und Kollaboration gemeinsamer Aktivitäten. Die verbleibenden endlichen Ressourcen, aber auch die proprietären Maschinen und andere Arbeitsressourcen werden effizienter eingesetzt.

Daraus entsteht eine offene Informationskultur, auf deren Basis alle Beteiligten profitieren (9A). Das funktioniert vor allem durch stabile Systeme und sichere Kommunikationswege dank eines voll ausgebauten LTE-Netzes und präziser Ortungstechnologien (2C). Die in den letzten Jahren stark florierende Cyberkriminalität wird durch die Zusammenarbeit mehrerer Softwareunternehmen und Regierungsverantwortlichen in großangelegten Standardisierungen und Sicherheitsupdates reduziert (6B). Durch höhere Sicherheitsstandards, aber auch durch verbesserte Mensch-Maschine-Schnittstellen können nun auch die vormals ausgegrenzten „älteren“ Menschen an neueren Technologien teilhaben.

Diese Entwicklung, aber auch die allgegenwärtige Digitalisierung von Dienstleistungen und Alltagshelfern, lässt ein Leben ohne die Unterstützung von technischen Hilfsmitteln nicht mehr zu (7A). Das scheint für die ältere Generation auch kein Problem mehr darzustellen, da sie mit dem Computer zu diesem Zeitpunkt wie mit echten Menschen reden können, sodass Bestellungen und Einkäufe immer häufiger über das Internet durchgeführt werden (5A). Diese generationsübergreifende, flächendeckende Annahme von technologiegestützten Service-Angeboten sorgt für einen erheblichen Nachfragesog nach technologischen Alltagshelfern. Über die Jahre fährt das deutsche Erfindertum zu neuen Hochleistungen auf und führt zu vielen neuen Patentanmeldungen (1B).

Die langen Stauzeiten und die daraus resultierenden hohen wirtschaftlichen Schäden, nicht zuletzt verursacht durch die monoton angestiegenen Beförderungsmengen auf der Straße (8B), verringern sich durch den Einsatz intelligenter Verkehrsführung (10C). Aber auch die hohen Investitionen in den Neu- und Ausbau, sowie den Erhalt vorhandener Straßen sorgen für eine Erhöhung der Straßenkapazität (4B). Das Ergebnis sind kürzere Fahrzeiten und eine hohe branchenübergreifende Termintreue. Diese insgesamt positiven Entwicklungen führen zu hohem Vertrauen in die regierungsbildenden Parteien (3C).

6.5.4 Szenario II – Ungewisse Zeiten

Die vorherigen Jahre weitläufiger Diskussionen um die Digitalisierung, Datenschutz und -sicherheit führen auch bei den regierungsbildenden Parteien zur Uneinigkeit. Es werden Gesetze probeweise erlassen und bereits ein Jahr später wieder abgeändert oder ersetzt. Einerseits hält die Technologisierung Einzug, andererseits dürfen Systeme nur unter

strengen Sicherheitsvorkehrungen die Daten von Konsumenten verarbeiten. Die Hoffnung auf Klärung des Arbeitsstatus und der Assimilierung der Flüchtlinge hat sich bis heute nicht bewahrheitet. Das Ergebnis sind starke politische Unruhen (3A). Das führt zu Verunsicherungen in den Unternehmen und zu einer zurückhaltenden Gesprächshaltung (9C).

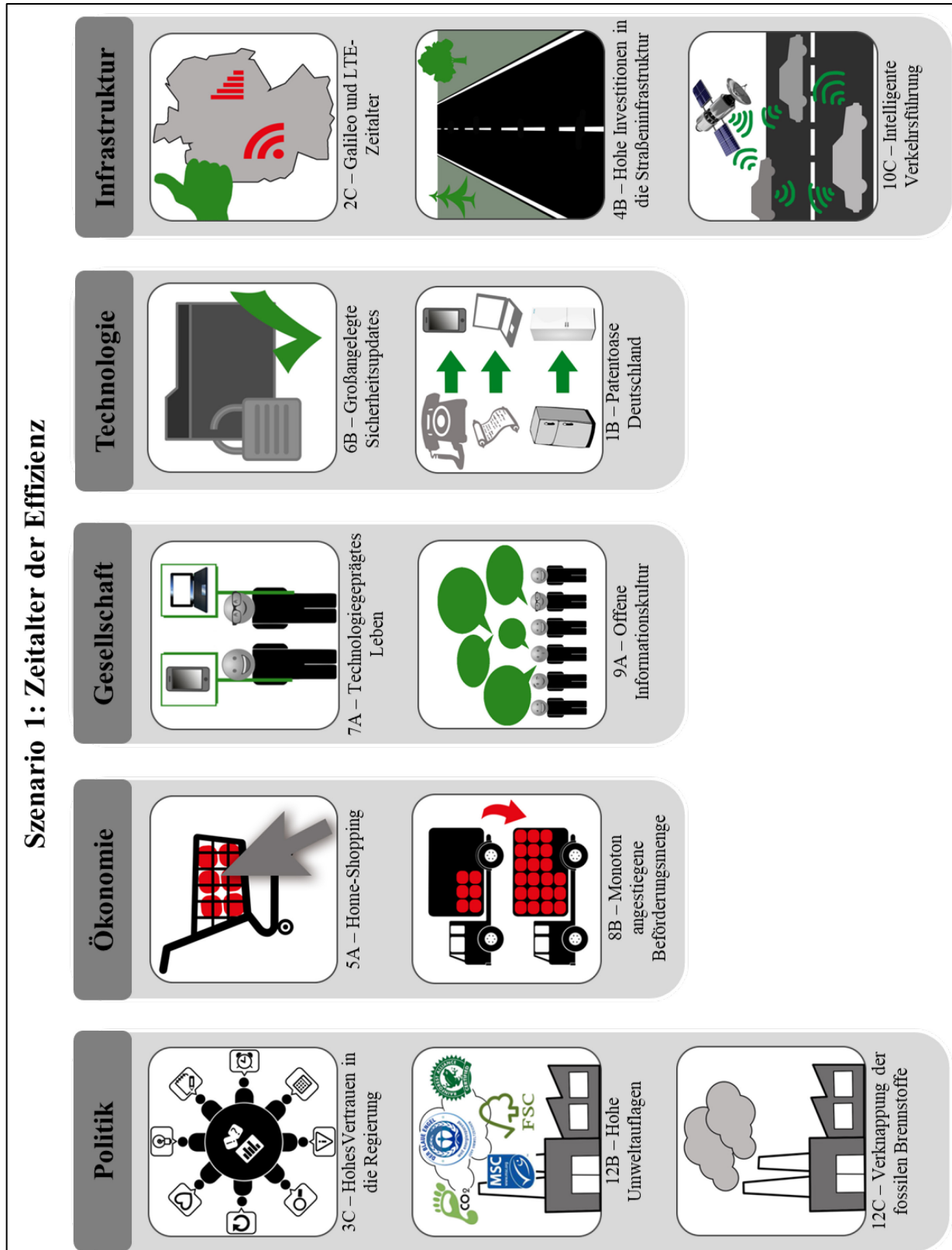


Abbildung 6.7 Erstes Szenario mit allen Schlüsselfaktorenprojektionen

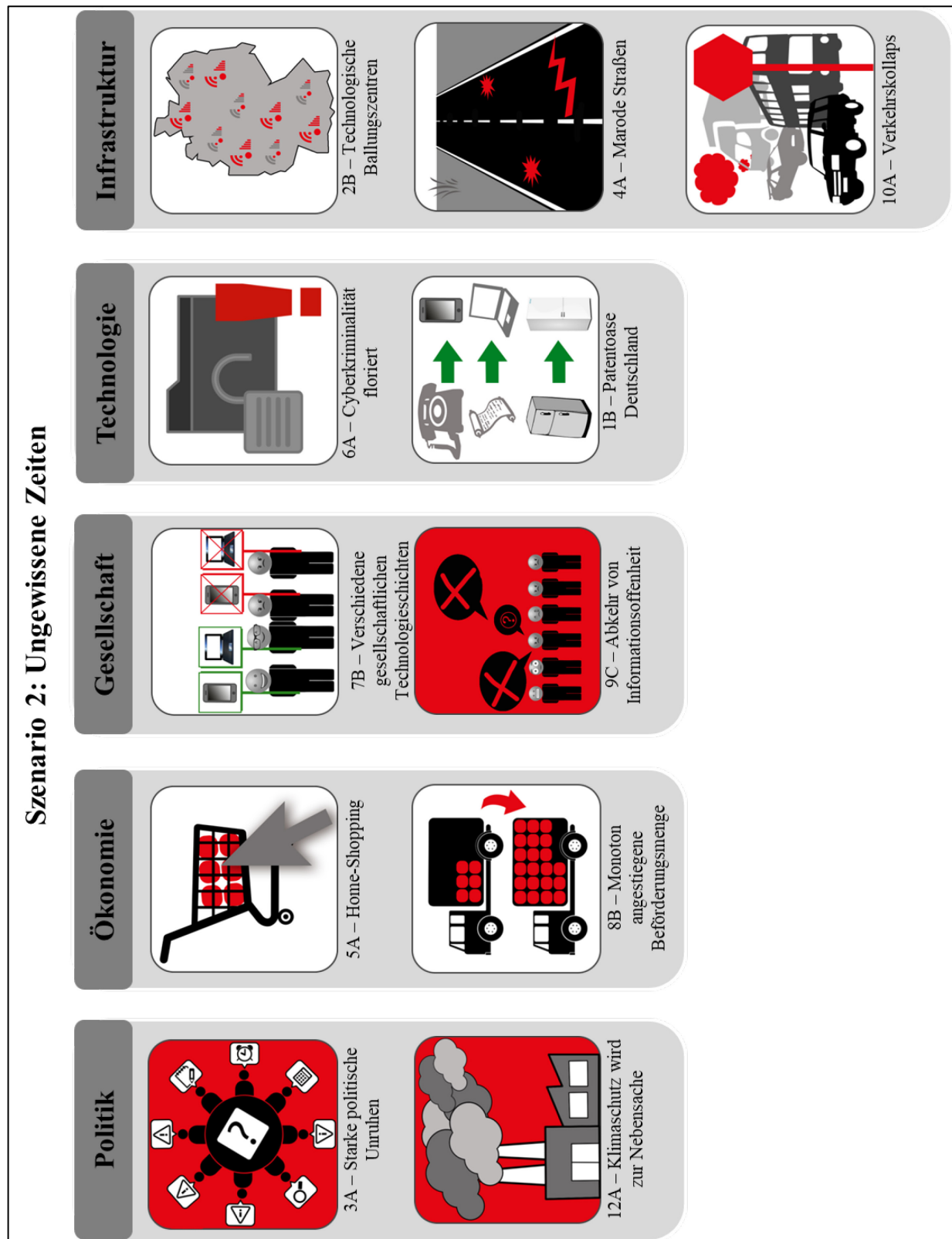


Abbildung 6.8 Zweites Szenario mit allen Schlüsselfaktorenprojektionen

Nichtsdestotrotz wird gerade durch die Abkehr einer Informationsoffenheit ein hohes Wettbewerbsdenken gefördert. Die technologische Entwicklung wird durch eine gestiegene Anzahl an Patentanmeldungen offenbar (1B). Leider werden durch das Zurückhalten proprietärer Informationen Kooperationen und damit das Teilen gemeinsamer Ressourcen in seltenen

Fällen durchgeführt, besonders weil durch steigende Kriminalitätsraten über das Internet genauso wie Unternehmensspionage geheime Unternehmensinformationen immer häufiger gestohlen werden (6A). In einer unsicheren Unternehmenswelt wie dieser wird der Klimaschutz zur Nebensache (12A).

Die wirtschaftliche Lage und damit auch die Kaufkraft des Landes lassen sich nichtsdestotrotz durch ein stetiges Wachstum charakterisieren, was in einer monoton angestiegenen Beförderungsmenge resultiert (8B). Die fortschreitende Urbanisierung hat im Jahre 2030 ihren Höchstwert erlangt. Aufgrund geringer Nachfrage haben sich die Telekommunikationsanbieter nicht im geforderten Maße um die Netzabdeckung in ländlichen Gegenden gekümmert. Es entstehen dadurch technologische Ballungszentren (2B), weshalb die Menschen in die Städte ziehen. Dort zeigt sich die volle Bandbreite an modernen und technologischen Dienstleistungen. Durch Virtual-Reality und Echtzeit-Anbindung an neue Kundenangebote in den Läden unterscheidet sich der Einkauf über den heimischen Internetzugang oder ortsungebunden vom Mobilgerät kaum mehr vom „realen“ Einkaufen vor Ort.

Die Möglichkeit dieser Einkaufsart, aber auch weitere technologische Alltagshelfer sind teuer. Durch die technologische Entwicklung in vielen Bereichen, wie beispielsweise der Medizin, können nun auch lebensverlängernde Maßnahmen durchgeführt werden. Es entstehen gesellschaftliche Technologieschichten, die durch ihre Affinität zu neuen Technologien und ihre Liquidität charakterisiert werden können (7B).

Ohnehin ist durch die Vielzahl an in der Stadt lebenden Menschen ein stressfreies Einkaufen in den Geschäften der Stadt kaum mehr möglich. Home-Shopping floriert und damit auch die innerstädtische Anlieferung (5A). Die Tatsache, dass es innerorts zu mehr Paketanlieferungen kommt und mehr Menschen in die Städte ziehen, die Straßenkapazität aber nicht ohne Weiteres erweitert werden kann, sorgt zu bestimmten Zeiten für Verkehrsstillstände (10A). Um diese stark belastete Verkehrssituation durch baulich bedingte Kapazitätsreduzierungen nicht weiter zuzuspitzen, werden Straßensanierungen nicht im benötigten Ausmaße durchgeführt, was wiederum zu einer Verschlechterung der Straßenqualität führt (4A).

6.5.5 Szenario III – Stillstand

Die wirtschaftliche Lage ist seit Jahren durch einen positiven Wachstumsverlauf gekennzeichnet. Das sorgt auch für eine über die Jahre monoton angestiegene Beförderungsmenge auf der Straße (8B). Umgekehrt verhält es sich mit der technologischen Entwicklung (1A). Grund dafür sind massive Verletzungen des Datenschutzes und eine hohe Cyberkriminalität.

Diese negative Entwicklung sorgt indirekt für ein technologisches Misstrauen seitens der Bevölkerung. Umfragen zufolge wurden drei von fünf Befragten bereits Ziel eines Internetverbrechens (6A). Der Großteil der Opfer kommt aus der älteren Generation, die versuchten, mit der technologischen Entwicklung mitzuhalten und Teil der Internetgemeinschaft zu sein. Mitverantwortlich sind soziale Netzwerke, die rücksichtslos und profitgesteuert Benutzerdaten verkauften. Die Menschen ziehen daraus ihre Konsequenzen und sind nicht mehr bereit, ihre Daten zu teilen (9C).

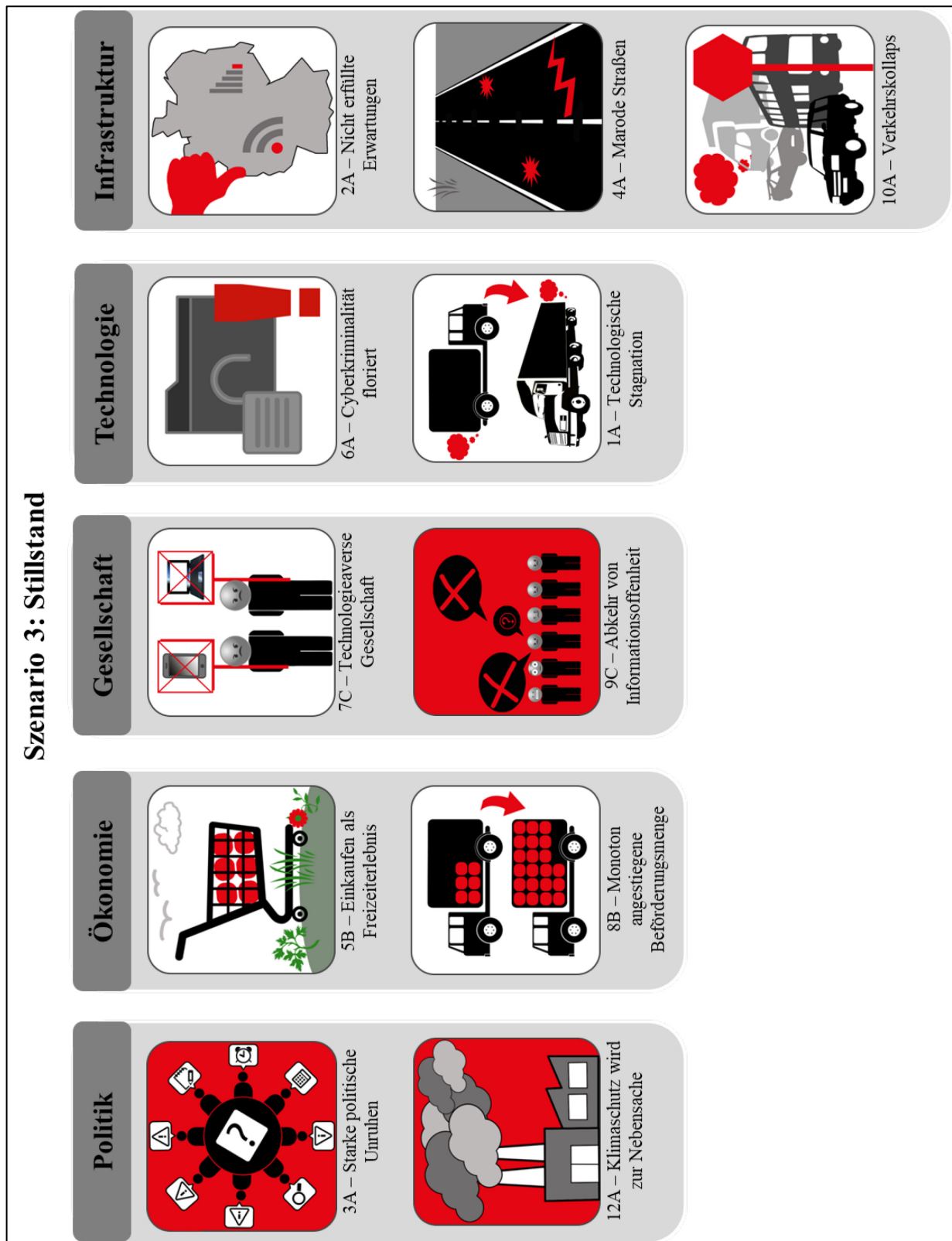


Abbildung 6.9 Drittes Szenario mit allen Schlüsselfaktorenprojektionen

Da die junge Generation zwar technologiegetrieben ist, allerdings nicht die finanziellen Mittel besitzt, um sich dementsprechend auszustatten und die ältere Generation zusätzlich zu den oben geschilderten schlechten Erfahrungen nicht bereit ist, ihr traditionelles Leben aufzugeben, kommt es zu einer technologieaversen Gesellschaft (7C). Da die Menschen nicht

mehr am Computer sitzen um zu bestellen, fahren sie wieder häufiger in die Stadt und machen aus dem Einkaufen ein Freizeiterlebnis (5B). Einen direkten Ansprechpartner zu haben, beraten und betreut zu werden, sowie das gewünschte Produkt auch haptisch zu erleben, sind hierfür treibende Faktoren.

Da sich die Menschen gegenüber neuen Technologien zurückhaltend und misstrauisch verhalten, werden bestehende Kommunikationssysteme nicht weiter ausgebaut. Das Satellitennavigationssystem „Galileo“ und der LTE-Standard bleiben hinter den Erwartungen zurück (2A).

Neben der technologischen Infrastruktur findet auch die physische Infrastruktur nur wenig Beachtung. Dies zeigt sich innerorts in vielen Seitenstraßen: Es sind viele zum Teil schlecht befahrbare Pflastersteinstraßen oder durch kalte Winter sanierungsbedürftige Asphaltstraßen vorzufinden (4A). Ebenso sind zu wenige Parkmöglichkeiten vorhanden. Das Stadtbild ist geprägt von vollgeparkten Straßen, die vielerorts zu Verkehrsstillständen führen (10A).

Grund für diese Trägheit seitens der Entscheidungsträger sind vorrangige Machtkämpfe um Fragestellungen, die sich um die Migrationspolitik, soziale Gerechtigkeit und den weiter anhaltenden finanziellen Druck resultierend aus der deutschen Verantwortungsposition in der Eurokrise, drehen. Die Regierung ist gespalten, ebenso wie die Bevölkerung (3A). Dabei wird der Klimaschutz zur Nebensache (12A).

6.6 Analyse der Szenario-Auswirkungen auf die ITS-Gestaltungsfeldkomponenten

6.6.1 Vorbemerkung

In der fünften Phase des Szenario-Managements geht es um die Übertragung der entwickelten Szenarien auf die Gestaltungsfeldkomponenten in Form einer Auswirkungsanalyse. Dazu wird für jedes Gestaltungsfeld eine Matrix aufgestellt, sodass eine zellenweise Betrachtung stattfinden kann (vgl. **Kapitel 5.4.6**). Dabei wird jeweils modifiziert nach Binner (2016) die Frage nach der Bedeutung und der Auswirkung der Szenarien auf die Gestaltungsfeldkomponenten gestellt. Die Einschätzung dieser beiden Dimensionen erfolgt über eine Werteskala von 1 (gering) bis 6 (hoch) für die Bedeutung und 1 (wenig) bis 6 (viele) für die Auswirkungszahl. Exemplarisch wird der Einschätzungsprozess für jedes Gestaltungsfeld für eine Bewertungszelle einmal vorgeführt. Im Anschluss werden dann mittels grafischer Darstellung die Gestaltungsfelder analysiert.

Die Bedeutung eines Szenarios für die Gestaltungsfeldkomponenten lässt sich nicht anhand „harter“ Entscheidungskriterien ermitteln. Vielmehr ist jede Gestaltungsfeldkomponente in das untersuchte Szenario hinein zu interpretieren, um eine Einschätzung bezüglich der Bedeutung vornehmen zu können. Hierbei werden situativ bestimmte Projektionen stärker ins Gewicht fallen als andere. Das bedeutet auch, dass das Vorhandensein bestimmter Zustände für die Gestaltungsfeldkomponente automatisch in einer geringeren Bedeutung resultiert. Dieser Vorgang basiert, ähnlich der Projektionserstellung, auf einer interpretativen Perspektive und erhebt demzufolge keinen Anspruch auf Endgültigkeit. Ebenso verhält es sich mit

der potentiellen Anzahl von Auswirkungen auf jede Gestaltungsfeldkomponente. Die Auswirkungen werden vor dem Hintergrund von nicht ausgeschöpften Potentialen gesehen. Dementsprechend werden die Auswirkungen hoch eingeschätzt, wenn das Szenario viele Auswirkungen und im weiteren Sinne Möglichkeiten bietet. Die Bewertung basiert in beiden Fällen auf der Einschätzung des Autors. Auf eine weiterführende Validierung der Ergebnisse wird in **Kapitel 7.4** eingegangen.

6.6.2 Auswirkungsanalyse

In diesem Unterkapitel wird die Auswirkungsanalyse für die vier ITS Gestaltungsfelder durchgeführt. Die methodische Bewertung und Vorgehensweise wird, wie in **Kap. 5.4.6** dargestellt, mittels differenzierter Portfoliomatrix-Auswertung durchgeführt. Dabei werden die GFK der einzelnen Gestaltungsfelder vor dem Hintergrund der Szenarien betrachtet. Anschließend wird die Bedeutung und die Anzahl an Auswirkungen der Szenarien auf die GFK beurteilt. Die Bewertung der Bedeutung wird auf einer Skala von „geringe Bedeutung“ (=1) bis „hohe Bedeutung“ (=6) und die Auswirkungsanzahl auf einer Skala von „wenige Auswirkungen“ (=1) bis „viele Auswirkungen“ (=6) bewertet. Exemplarisch wird anhand einer GFK in jedem GF gezeigt wie es zu einer bestimmten Bewertung gekommen ist. Die vollständige Bewertungsgrundlage ist Anhang I zu entnehmen.

Flottenmanagement

In **Tabelle 6.14** können die Ergebnisse der Auswirkungsanalyse für das Gestaltungsfeld Flottenmanagement betrachtet werden.

Tabelle 6.14 Auswirkungsanalyse Flottenmanagement

Gestaltungsfeld: Flottenmanagement	Szenario 1: Zeitalter der Effizienz		Szenario 2: Ungewisse Zeiten		Szenario 3: Stillstand	
	B*	A**	B	A	B	A
Controlling	2	1	2	2	2	1
Datenflüsse	3	4	4	3	3	2
Datenschutz	4	5	5	6	6	5
Kommunikations- bereitschaft der Akteure	2	5	3	3	3	2
Routenplanung	2	5	4	4	3	5
Technologische Infrastruktur	2	2	4	4	3	2
Verkehrsaufkom- men	3	2	5	5	5	5

Legende: *B = Bedeutung (1=gering bis 6=hoch), **A = Auswirkung (1=wenig bis 6=viele)

Zum besseren Verständnis wird nun die Bewertung der Kommunikationsbereitschaft der Akteure vorgestellt. Das Flottenmanagement, wie es in **Kapitel 3.4** und **Kapitel 4.2** darge-

stellt wurde, ist abhängig von der Kooperationsbereitschaft der am Transportprozess beteiligten Akteure. Dazu zählen neben den Fahrern auch Lieferempfänger, Auftraggeber, andere Verkehrsteilnehmer und behördliche Entscheidungsträger. Wird die Kommunikationsbereitschaft vor dem Hintergrund des ersten Szenarios betrachtet, so fällt die Bedeutung für diese GFK eher gering aus. Das ist damit zu begründen, dass die Faktoren für eine Begünstigung dieser Komponente bereits vorhanden sind. Im Szenario „Zeitalter der Effizienz“ ist eine offene Kommunikationskultur etabliert und ein gut ausgebautes Informations- und Kommunikationsnetz vorhanden, wodurch ein reibungsloser Informationsaustausch sowie die Bereitschaft dazu in den Arbeitsalltag integriert wurden. Die Auswirkung dieses Szenarios ist mit einer 5 bewertet worden, da die Implikationen, die eine offene Informationskultur für das Flottenmanagement bereithält, zu einer Effizienzsteigerung und Optimierung im gesamten Transportprozess führen. Durch eine offene Kommunikationskultur werden benötigte Informationen wie Verkehrsdichte, Straßenkonditionen, aber auch Zeitfenster und Verspätungen für Anlieferungen mit allen Beteiligten geteilt, sodass hier dynamische Anpassungen vorgenommen werden können. Für KEP-Dienstleister wären auch in Abhängigkeit des momentanen Aufenthaltspunktes des Lieferempfängers weitere Paketabgabepunkte möglich. Die möglichen Auswirkungen für diese GFK würden demnach alle Akteure betreffen.

ADAS

In **Tabelle 6.15** können die Ergebnisse der Auswirkungsanalyse für das Gestaltungsfeld ADAS betrachtet werden.

Tabelle 6.15 Auswirkungsanalyse ADAS

Gestaltungsfeld: ADAS	Szenario 1: Zeitalter der Effizienz		Szenario 2: Ungewisse Zeiten		Szenario 3: Stillstand	
	B*	A**	B	A	B	A
Gesellschaftliche Akzeptanz	2	2	3	3	6	6
Gesetze	2	6	3	3	5	2
Hardware	1	1	3	3	2	1
Informations- infrastruktur	2	5	4	4	4	3
Physische Infrastruktur	2	4	5	6	5	5
Software	2	2	2	3	2	1

Legende: *B = Bedeutung (1=gering bis 6=hoch), **A = Auswirkung (1=wenig bis 6=viele)

Als Beispiel sei hier Bewertung der GFK „Gesellschaftliche Akzeptanz“ im dritten Szenario „Stillstand“ aufgezeigt: Fortgeschrittene Fahrerassistenzsysteme sind das zweite Gestaltungsfeld und sind vor allem von der technologischen Entwicklung, aber auch von der Technologieakzeptanz abhängig. Die jeweils höchsten Bewertungen sowohl in der Bedeutung als auch in der Auswirkung des Szenarios auf die Komponente sind unter anderem auf die Pro-

jektionsausprägung „Technologische Stagnation“ und „Technologieaverse Gesellschaft“ (vgl. **Kapitel 6.4.3** u. **6.4.9**) zurückzuführen. Besonders das Gelingen der Etablierung von autonomem Fahren als Aushängeschild moderner Fahrerassistenzsysteme ist sowohl im Individualverkehr als auch im Wirtschaftsverkehr auf Akzeptanz und Annahme angewiesen.

Ohne diese Akzeptanz ist eine Weiterentwicklung fraglich und nicht gewinnbringend für die Unternehmen, die am Entwicklungsprozess beteiligt sind. Die Bedeutung dieses Szenarios ist dementsprechend hoch für die betrachtete GFK. Die Auswirkungen auf die gesellschaftliche Akzeptanz wären ebenso erheblich, da dieser Wirtschaftszweig nun verstärkt mit mehr Maßnahmen für eine gesellschaftliche Akzeptanz werben würde. Maßnahmen könnten eine intensivere Zusammenarbeit mit dem Nutzersegment in der Spezifikationsphase des Produktes sein. Der Konsument könnte stärker in den Entscheidungs- aber auch Mitgestaltungsprozess eingebunden werden. Es könnten öffentlichkeitswirksame Aktionen zum Thema autonomes Fahren zur Erhöhung der gesellschaftlichen Akzeptanz durchgeführt werden. Insgesamt wären vor dem Hintergrund einer technologieaversen Gesellschaft viele Maßnahmen zur Steigerung der gesellschaftlichen Akzeptanz für fortgeschrittene Fahrerassistenzsysteme notwendig.

City-Logistik

In **Tabelle 6.16** können die Ergebnisse der Auswirkungsanalyse für das Gestaltungsfeld City-Logistik betrachtet werden.

Tabelle 6.16 Auswirkungsanalyse City-Logistik

Gestaltungsfeld: City-Logistik	Szenario 1: Zeitalter der Effizienz		Szenario 2: Ungewisse Zeiten		Szenario 3: Stillstand	
	B*	A**	B	A	B	A
Konsumverhalten	2	3	2	5	2	2
Kooperation	2	4	5	4	4	2
Mautsysteme	3	4	4	4	3	3
Physische Infrastruktur	2	2	5	4	4	3
Politische Entwicklung	1	4	5	5	3	3
Technologische Infrastruktur	1	3	3	3	3	1
Verkehrsaufkommen	2	2	6	6	5	4

Legende: *B = Bedeutung (1=gering bis 6=hoch), **A = Auswirkung (1=wenig bis 6=viele)

Beispielhaft wird hierfür die Bewertung der Bedeutung und Auswirkung des zweiten Szenarios „Ungewisse Zeiten“ auf die GFK „Kooperation“ aufgegriffen und erklärt. Das dritte Gestaltungsfeld „City-Logistik“ ist, verglichen mit den anderen Gestaltungsfeldern, ein Quer-

schnittsfeld und weist demnach viele bereichsübergreifende GFK auf. Die City-Logistik ist hauptsächlich von innerstädtischen Belieferungsk Kooperationen und Anlieferkonzepten abhängig. Ähnlich wie die Kommunikationsbereitschaft für das Gestaltungsfeld Flottenmanagement, ist auch die Kooperation abhängig von einer hohen Bereitschaft zum Austausch von unternehmenseigenen Informationen zur besseren Koordinierung von Anlieferzyklen. Aber auch in diesem Szenario herrscht eine Abkehr von der Informationsoffenheit, was dementsprechend zu einer hohen Bedeutung für diese GFK in diesem Szenario führt. Die Auswirkungen sind hier mit einer 4 bewertet, da mehr Bemühungen zur Kooperationsbildung eingeleitet werden müssten als bei einer informationsoffenen Gesellschaft.

Mautsysteme

In **Tabelle 6.17** können die Ergebnisse der Auswirkungsanalyse für das Gestaltungsfeld Mautsysteme betrachtet werden.

Tabelle 6.17 Auswirkungsanalyse Mautsysteme

Gestaltungsfeld: Mautsysteme	Szenario 1: Zeitalter der Effizienz		Szenario 2: Ungewisse Zeiten		Szenario 3: Stillstand	
	B*	A**	B	A	B	A
Digitale Bezahlssysteme	1	1	2	2	1	1
Gestaltung des Verkehrsaufkommens	5	4	5	5	5	2
Netzabdeckung	2	2	4	3	5	2
Physische Infrastruktur	1	1	4	3	4	3
Rechtliche Grundlage	2	3	4	2	4	2
Systemkosten	2	1	4	2	5	2

Legende: *B = Bedeutung (1=gering bis 6=hoch), **A = Auswirkung (1=wenig bis 6=viele)

Exemplarisch wird nun die Bewertung der GFK „Digitale Bezahlssysteme“ vor dem Hintergrund des ersten Szenarios „Zeitalter der Effizienz“ erörtert. Das vierte Gestaltungsfeld „Mautsysteme“ ist insbesondere vor dem Hintergrund eines möglicherweise zähen Verkehrsflusses im innerstädtischen Bereich zu betrachten. Neben der zusätzlichen Einnahmequelle zur Sanierung des Verkehrsnetzes können Mautsysteme auch zur Gestaltung des Verkehrsaufkommens genutzt werden. Das bedeutet, dass das Einfahren in stark frequentierten Hauptstraßen oder das Befahren von „freien“ zusätzlichen Fahrbahnen mit zusätzlichen Nutzungsgebühren belastet werden könnten.

Ebenso könnten in Abhängigkeit des Verkehrsaufkommens auch variable Bezahltarife Anwendung finden. Sowohl die Bedeutung als auch die Auswirkungen dieses Szenarios auf die GFK sind mit der niedrigsten Bewertung versehen. Da der Zustand der technologischen Infrastruktur sehr gut ist (vgl. **Kapitel 6.4.4**), digitale Bezahlssysteme durch eine hohe Technolo-

gieakzeptanz und großangelegte Sicherheitsupdates in diesem Szenario für eine hohe Sicherheit vor äußeren An- und Eingriffen in das Bezahlsystem sorgen, ist die Bedeutung aber auch die möglichen Auswirkungen für diese GFK nicht sehr hoch, wodurch sich diese geringe Bewertung erklärt.

6.6.3 Grafische Darstellung der Auswirkungsanalysen

Die quantitative Bewertung der einzelnen Gestaltungsfeldkomponenten bezogen auf die drei Szenarien „Zeitalter der Effizienz“, „Ungewisse Zeiten“ und „Stillstand“ ermöglicht es, eine grafische Darstellung der Szenarienbedeutung und -auswirkung auf die vier Gestaltungsfelder vorzunehmen. **Abbildung 6.10** zeigt die grafische Darstellung aller vier Gestaltungsfelder bezüglich ihrer Bedeutung und Auswirkung.

Für die Erstellung der Grafen innerhalb der **Abbildung 6.10** wurde die durchschnittliche Bedeutung und Auswirkung aller GFKs eines Gestaltungsfeldes berechnet.¹⁸ Es wird erkennbar, dass das zweite Szenario „Ungewisse Zeiten“ für alle vier Gestaltungsfelder im Durchschnitt die meisten Auswirkungen mit sich bringt. Bei der Analyse der Bedeutung der Szenarien auf die Gestaltungsfelder ist festzustellen, dass das Szenario 1 „Zeitalter der Effizienz“ jeweils für alle vier Gestaltungsfelder die geringste Bedeutung aufweist. Das begründet sich aus dem positiven Charakter des ersten Szenarios, in dem die Menschen miteinander kommunizieren und die physische wie auch technologische Infrastruktur in einem sehr guten Zustand sind. Die Bedeutung des Szenarios auf die einzelnen GFK fallen damit gering aus.

Das negativ gedeutete dritte Szenario, in dem die Schlüsselfaktoren einen entwicklungshemmenden Charakter aufweisen, hat für die beiden Gestaltungsfelder „ADAS“ und „Mautsysteme“ eine hohe Bedeutung und eine mittlere Bedeutung für die Gestaltungsfelder „Flottenmanagement“ und „City-Logistik“. Dies erklärt sich aus den durch eher schlechte Rahmen- und Umfeldbedingungen negativ beeinflussten GFK im dritten Szenario „Stillstand“.

Wird der Analysefokus auf die einzelnen GFK gerichtet, so zeigt die Auswirkungsanalyse, dass die höchste Bedeutung und Auswirkung über alle drei Szenarien hinweg die GFK „Datenschutz“ im Gestaltungsfeld „Flottenmanagement“ hat. Für das Gestaltungsfeld „ADAS“ zeigt die Bewertung für die GFK „Physische Infrastruktur“ die höchste Bedeutung und die meisten Auswirkungen. Im Gestaltungsfeld „City-Logistik“ hat die GFK „Verkehrsaufkommen“ die höchste Bedeutung über alle Szenarien hinweg.

Bezüglich der Auswirkungen hat die GFK „Politische Entwicklung“ eine gleich hohe Bewertung, wie die GFK „Verkehrsaufkommen“. Für das vierte Gestaltungsfeld „Mautsysteme“ hat die GFK „Gestaltung des Verkehrsaufkommens“ sowohl die höchste Bedeutung als auch die meisten Auswirkungen über alle drei Szenarien.¹⁹

¹⁸ Für die Berechnung der durchschnittlichen Werte ist auf die Excel-Datei „Auswirkungsanalyse_Diagramm“ im Anhang verwiesen.

¹⁹ Alle weiteren Ränge können der Excel-Datei „Auswirkungsanalyse_Diagramm“ im Anhang entnommen werden.

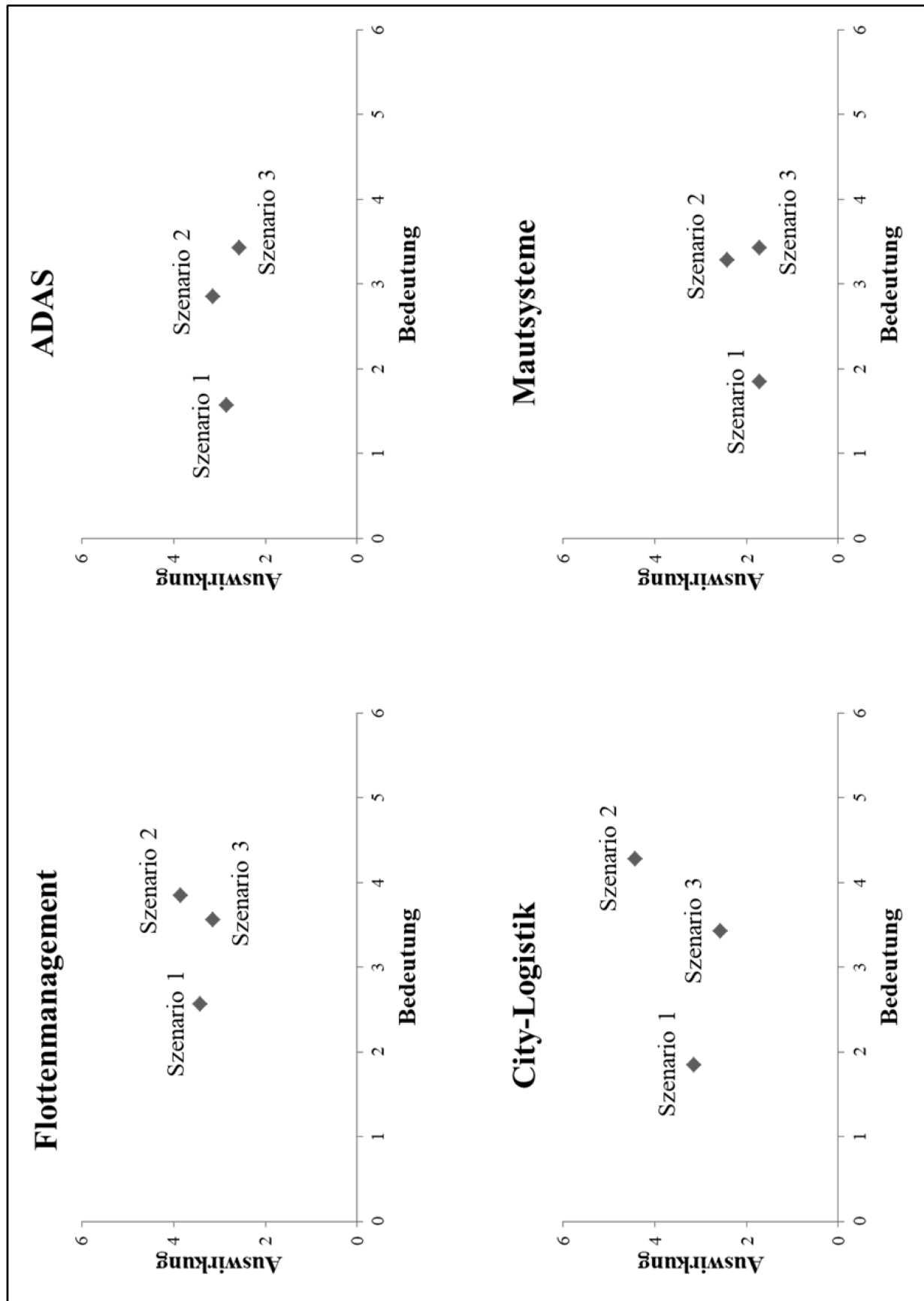


Abbildung 6.10 Bedeutung und Auswirkungsanzahl* der Szenarien auf die Gestaltungsfelder
*Legende: Bedeutung (1=gering bis 6=hoch), Auswirkung (1=wenig bis 6=viele)

Die hier aufgezeigten Auswirkungen ermöglichen es den Verantwortlichen, aus allen Interessenbereichen zukunftsgerichtete Eventual- und Robustpläne bzw. Eventual- und Robuststrategien zu entwickeln. Die Rangordnung der einzelnen GFK kann Aufschluss über die Dringlichkeit und Prioritäten geben. Im Sinne des übergeordneten Themenbereichs der intelligenten Transportsysteme für den Straßengüterverkehr scheint aber ein ganzheitlicher und allumfassender Planungsansatz, bestehend aus allen vier Gestaltungsfeldern, vielversprechend zu sein.

Das folgende Kapitel bildet den Abschluss dieser Arbeit. Es folgen die Beantwortung der Forschungsfragen, die Ableitung der Handlungsimplikationen vor dem Hintergrund der Wirkungsanalyse aller vier Gestaltungsfelder, eine Darstellung der Limitationen der Arbeit sowie der Ausblick auf fortführende Forschungsaktivitäten im Kontext dieser Arbeit. Dieser Aspekt verdeutlicht dann noch einmal die Bedeutung der Ergebnisvalidierung.

7 Zusammenfassung und Erkenntnisse

7.1 Beantwortung der Forschungsfragen

Das Ziel dieser Dissertation war es, ITS im Straßengüterverkehr zu analysieren und deren mögliche Entwicklungspfade aufzuzeigen. Dafür wurden drei Forschungsfragen aufgestellt und im Laufe dieser Arbeit beantwortet. Es werden nun die drei Forschungsfragen aufgegriffen und im Folgenden beantwortet. Die drei Fragen waren:

1. **Was sind intelligente Transportsysteme für den Straßengüterverkehr?**
2. **Wovon wird die Entwicklung von intelligenten Transportsystemen für den Straßengüterverkehr beeinflusst?**
3. **In welche Richtung können sich intelligente Transportsysteme für den Straßengüterverkehr entwickeln?**

Die **erste Forschungsfrage** wurde zur Strukturierung und Eingrenzung des in dieser Arbeit aufgestellten Forschungsbereichs benötigt. Zunächst wurde der Straßengüterverkehr mit den ihn charakterisierenden Eigenschaften dargestellt, wodurch anschließend das Anwendungsspektrum telematischer Systeme für den Straßengüterverkehr identifiziert wurde. Die Analyse ergab eine Kategorisierung von ITS im Straßengüterverkehr in die Bereiche Flottenmanagement, Mautsysteme, fortgeschrittene Fahrerassistenzsysteme und City-Logistik.

In **Abbildung 7.1** sind die vier Kategorien noch einmal abgebildet und kurz charakterisiert. Zu den Hauptaufgaben des **Flottenmanagements** gehören die Fahrzeugbeschaffung und -finanzierung, die Wartung und Reparatur, die Kostenkontrolle und -steuerung sowie die Fahrzeugeinsatzplanung. Die zweite Kategorie betrifft elektronische **Mauterhebungssysteme**. Diese sind dank moderner drahtloser Sprach- und Datenübertragung schneller, einfacher zu handhaben und günstiger geworden. **Fortgeschrittene Fahrerassistenzsysteme (ADAS)** bilden die dritte Kategorie und sind, anders als konventionelle Fahrerassistenzsysteme, um die maschinelle Datenverarbeitungs- und Interpretationsleistung erweitert. ADAS wirken auf der Stabilisierungs-, Bahnführungs- und Navigationsebene und sind mittels international festgelegter Achsrichtungen systemübergreifend einsetzbar (vgl. Mörbé 2012). Die vierte Kategorie behandelt die **City-Logistik**, die zum Ziel hat, den Güterverkehr innerhalb einer Stadt zu konsolidieren und zu koordinieren und dabei die umweltschädlichen Einflüsse zu reduzieren, indem die innerstädtischen Logistikprozesse effizienter gestaltet werden.

Um der eigentlichen Ausrichtung dieses Promotionsvorhabens gerecht zu werden, wurde die **zweite Forschungsfrage** aufgestellt, die zum Ziel hatte, alle relevanten Einflussbereiche sowie Einflussfaktoren telematischer Systeme für den Straßengüterverkehr zu erarbeiten. Das Thema der Telematiksysteme für den Straßengüterverkehr wurde vor dem Hintergrund zukünftiger Entwicklungspfade und deren Einflussbereiche in einem zweitägigen Workshop an der Universität Bremen bearbeitet. Das Ergebnis waren fünf Einflussbereiche (Gesellschaft, Ökonomie, Politik, Infrastruktur und Technologie) sowie 22 Einflussfaktoren, die in weiteren Analyseschritten auf zwölf Schlüsselfaktoren reduziert wurden.

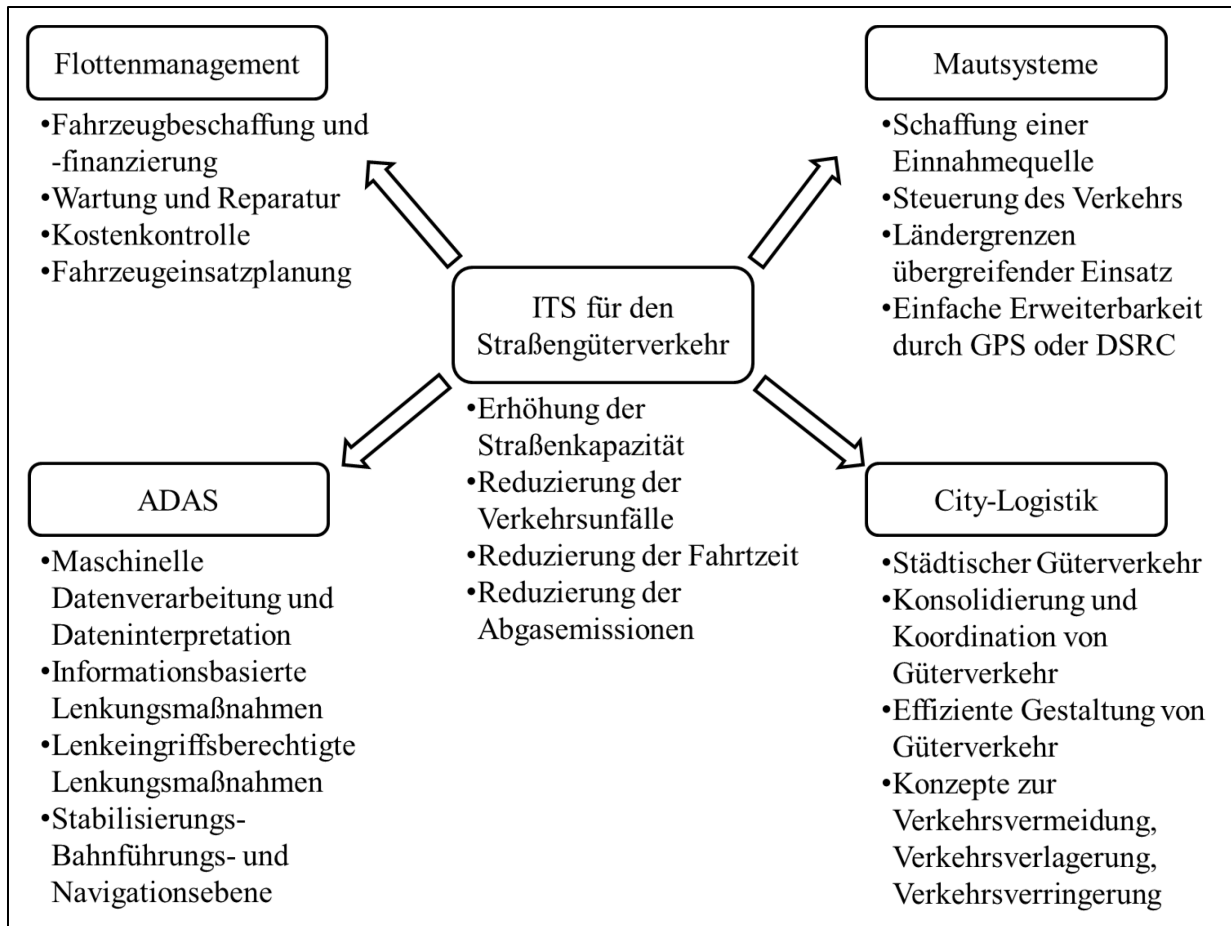


Abbildung 7.1 Vier ITS-Kategorien und Kurzcharakterisierung

In **Abbildung 7.2** sind alle fünf Einflussbereiche mit den dazugehörigen zwölf Schlüsselfaktoren abgebildet. Demnach wird die Entwicklung von Telematiksystemen für den Straßengüterverkehr von der **technologischen Entwicklung** und in diesem Zusammenhang auch vom **Zustand der technologischen Infrastruktur** und der **Technologieakzeptanz** unterschiedlicher Nutzergruppen beeinflusst. Indem immer komplexere (aber auch effizientere) Transportsysteme und Dienstleistungen angeboten werden, wird die **Systemsicherheit** solcher Angebote auch immer bedeutender. Ein weiterer wesentlicher Schlüsselfaktor sind die **politischen Rahmenbedingungen**, die allen Akteursgruppen gesetzliche Sicherheiten im Ausbau und Verwendung intelligenter Transportsysteme bieten. Ebenso sind der **Zustand der physischen Infrastruktur** und politische Rahmenbedingungen eng mit der **wirtschaftlichen Entwicklung** eines Landes und der umweltbedingten Einschränkungen (**Umweltfaktoren**), wie Klimaschutz und Umweltauflagen, verknüpft. In diesem Zusammenhang wurden auch die Schlüsselfaktoren **Ladungsaufkommen** und **Verkehrsfluss** ermittelt, welche sich wiederum mit dem Online-Handel (**E-Commerce**) über die Jahre verändert haben und zu mehr kleinteiligen Lieferungen und somit zu einem Zuwachs der verkehrlichen Belastung auf den Straßen allgemein und dem innerstädtischen Verkehr im Speziellen geführt hat. Letztendlich spielt auch die **Kommunikationsbereitschaft** aller am Transportprozess beteiligten Akteursgruppen eine wesentliche Rolle, die die Annahme und Weiterentwicklung intelligenter Transportsysteme vorantreiben.

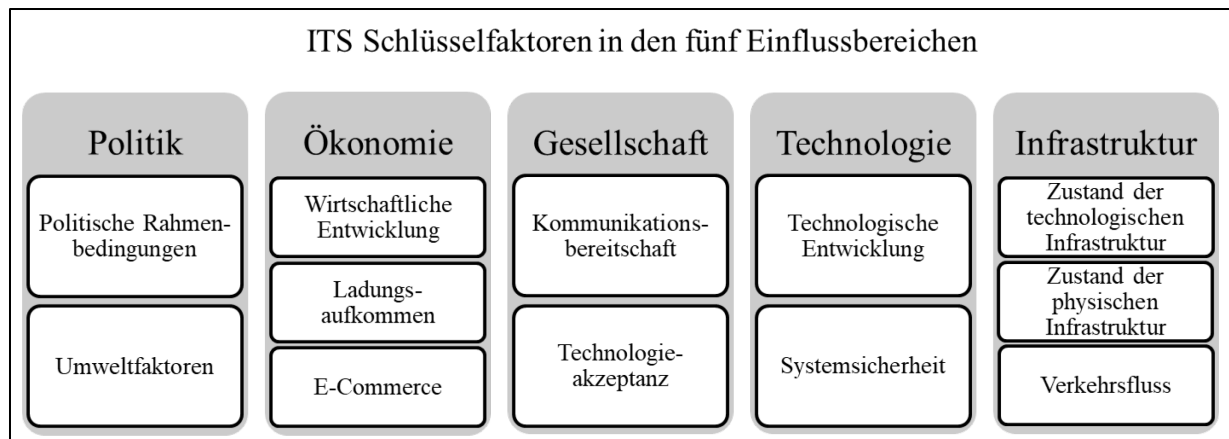


Abbildung 7.2 ITS Schlüsselfaktoren

Die abschließende **dritte Forschungsfrage** hatte zum Ziel zu ergründen, welche möglichen Entwicklungsrichtungen Telematiksysteme für den Straßengüterverkehr unter Einbezug aller Schlüsselfaktoren haben. Dafür wurde eine Methode aus der Zukunftsforschung verwendet. Die Szenarioanalyse verbindet die Ergebnisse aus dem Workshop mit weiteren Methoden aus der Zukunftsforschung und ermöglichte die Aufstellung von drei unterschiedlichen, konsistenten Szenarien (s. **Abbildung 6.7**, **Abbildung 6.8** und **Abbildung 6.9**).

Das erste Szenario „Zeitalter der Effizienz“ zeigt eine Entwicklung in Richtung einer stark kooperierenden und vernetzten Gesellschaft. Da die technologische Grundlage vorhanden ist und die Systemsicherheit und Kompatibilität der meisten Informations- und Kommunikationssysteme gewährleistet werden können, sind Kooperationen und enge Zusammenarbeit ehemals konkurrierender Unternehmen zum Standard geworden. Das führt dazu, dass Systeme auf Basis von proprietären Unternehmensdaten entwickelt werden und unternehmensgrenzenübergreifend zur effizienteren Prozess- und Transportabwicklung führen. Diese durchaus positiven Entwicklungen sorgen für eine geringere Verkehrsbelastung und somit zu einer Erhöhung der Straßenkapazität und Reduzierung von Stauzeiten.

Im zweiten Szenario „Ungewisse Zeiten“ wird von politischen Unruhen ausgegangen. Da politische Rahmenbedingungen viele Einflussbereiche von Telematiksystemen für den Straßengüterverkehr beeinflussen, entsteht für alle Akteursgruppen eine unsichere Entscheidungsbasis. Diese zeigt sich wiederum in einer vorsichtigen Gesprächshaltung und einer insgesamt protektionistischen Grundhaltung seitens der Unternehmen. Der insgesamt anhaltende Trend zur Urbanisierung führt zu technologischen Ballungszentren, die wiederum den innerstädtischen Verkehr stark erhöhen und Transportprozesse insgesamt verschlechtern. Da Kooperationen und Kollaborationen nicht in der erforderlichen Quantität gefördert werden, wächst die innerstädtische Belastung, sowohl im verkehrlichen als auch im gesundheitlichen Sinne, an. Trotz dieser negativen Entwicklungsrichtungen ist das zweite Szenario durch einen hohen Konsum seitens der Bevölkerung charakterisiert. Die technologischen Grundlagen zu einer Verbesserung der gegebenen Situation sind vorhanden, sodass hierin ein hohes Potential für Durchbrüche in der Zusammenarbeit aller Akteure vorhanden ist.

Das dritte Szenario „Stillstand“ ist im Grundton negativ und entwicklungshemmend formuliert. Das ist dem Umstand geschuldet, dass Verletzungen des Datenschutzes und eine Verstärkung der Cyberkriminalität das Vertrauen aller Akteursgruppen in die technologische Entwicklung stark beschädigte. Die Abkehr von Technologien und damit die Abkehr einer gesellschaftlichen Entwicklung hin zu effizienteren Möglichkeiten der Kooperation und Kollaboration führten zu einer ablehnenden Haltung gegenüber neuen und effizienteren Möglichkeiten zur Gestaltung des alltäglichen Lebens. Für den Einsatz moderner Transportsysteme wäre der Eintritt eines solchen Szenarios als äußerst ungünstig einzustufen.

Zusammengefasst kann also die Entwicklungsrichtung intelligenter Transportsysteme für den Straßengüterverkehr in Abhängigkeit der aufgestellten Szenarien folgendermaßen eruiert werden: Wenn das erste Szenario eintritt, hätte dies viele positive Auswirkungen auf den Transportprozess, allerdings eine geringe Bedeutung, da die begünstigenden Faktoren in diesem Szenario vorhanden sind. Würde das zweite Szenario eintreten, hätte dies viele Auswirkungen und eine mittlere Bedeutung für ITS, da je nach Gestaltungsfeldkomponente entweder begünstigende Faktoren vorhanden wären oder eben nicht, sodass hieraus eine hohe Bedeutung resultieren würde. Im Falle des dritten Szenarios hätte dies eine mittlere bis hohe Bedeutung, da in diesem Szenario wenige ITS für den Straßengüterverkehr begünstigende Faktoren vorhanden sind. Die Auswirkungen auf den intelligenten Transportprozess wären dementsprechend gering, weil diese nicht vorhanden wären. Für ein genaueres Verständnis der Auswirkungen und Bedeutungen der Szenarien auf ITS, kann die Bedeutung und die Auswirkungen der Szenarien auf die einzelnen Gestaltungsfeldkomponenten jedes einzelnen Gestaltungsfeldes betrachtet werden.

Auf Basis der drei erstellten Szenarien und deren höchste Bedeutung und meiste Auswirkungen für die jeweiligen Gestaltungsfeldkomponenten (GFK) werden im Folgenden allgemeine und anschließend spezifische Handlungsimplikation herausgestellt. Zur besseren Übersicht aller GFK ist auf **Tabelle 6.1** verwiesen.²⁰

7.2 Handlungsimplikationen für die vier ITS Gestaltungsfelder

7.2.1 Allgemeine Handlungsimplikationen

Auf Basis der drei Szenarien und der Auswirkungsanalysen können einige allgemeine Handlungsimplikationen abgeleitet werden. Zum einen müssen die „Zeichen der Zeit“ aufmerksam beobachtet werden. Entwicklungen können dadurch Hinweise auf das Eintreten eines der hier aufgestellten Szenarien geben. Je nach Szenario muss die Ausgestaltung einer zeitgemäßen Arbeitswelt verfolgt werden. Das wiederum bedeutet, dass sich Entscheidungsträger nicht auf vergangenen Entscheidungen ausruhen dürfen, sondern immer zeitgemäß überprüfen sollten, ob eine technische, systemische oder politische Richtungsänderung vorzunehmen ist. Gerade vor dem Hintergrund technologischer Entwicklungen und der in Zu-

²⁰ Ebenso können die Auswirkungsanalysen in **Tabelle 6.14**, **Tabelle 6.15**, **Tabelle 6.16**, **Tabelle 6.17** herangezogen werden.

kunft verstärkt auftretenden Substitution repetitiver Arbeitsaufgaben durch Maschinen sollte in erster Linie eine soziale Absicherung der Betroffenen gestaltet werden.

Die nächste allgemeine Handlungsaufforderung stellt die Energiewende dar. Fossile Brennstoffe haben eine Verbrauchsreichweite, die mit steigendem Bedarf kontinuierlich kleiner ausfällt. Es müssen Lösungen einer konsequenten Restrukturierung des Energiebedarfs erarbeitet werden, wobei der verbrauchergesteuerte und monoton ansteigende Straßengüterverkehr eine wesentliche Rolle einnehmen muss. In Hinblick auf weitere Umweltfaktoren ist es dann auch erheblich, wie neue Wege der Belieferung und Kooperationsmöglichkeiten den ökologischen Fußabdruck je Lieferung reduzieren können. Dazu wären in erster Linie Systeme zum Datenaustausch und gegenseitiges Vertrauen unternehmensgrenzübergreifend zu implementieren, um einen nachhaltigen Informationsaustausch und Transportprozess zu fördern. Hier wäre es dann auch wichtig zu überlegen, welche Transportsysteme im innerstädtischen Bereich und unter Einbezug regionaler und ländlicher Verbindungen den Konsumenten nachhaltig versorgen und die Lebensumstände verbessern können. Es bleibt kritisch zu betrachten, ob ein grundsätzliches Umdenken im Konsumbedürfnis erfolgen sollte oder ob ein technologiegetriebenes Zeitalter den Konsum weiter anfachen, aber auch nachhaltiger gestalten kann.

7.2.2 Flottenmanagement

Für das Flottenmanagement ist die technologische Infrastruktur entscheidend. Dadurch können sowohl fahrdynamische Systeme mit der Umgebung kommunizieren, aber auch verkehrsabhängige bessere Fahrtrouten angeboten werden. Im Falle des zweiten Szenarios sollten als vorbereitende Maßnahmen die eigene Flotte auf den neuesten Stand aufgerüstet werden, da dadurch der Einsatz neuester Routennavigation gewährleistet werden kann. Ebenso sollte viel Wert auf die Systemsicherheit der verwendeten Fahrzeuge und der digitalen Unternehmensstruktur gelegt werden. Der Datenschutz wird in allen drei Szenarien einen wichtigen Bestandteil zukünftiger Unternehmungen einnehmen. Das heißt, dass bereits heute in Systeme investiert werden sollte, die eine erhöhte Datensicherheit gewährleisten können. Darüber hinaus könnten Lieferkooperationen geschlossen werden, um einer möglichen Abkehr einer Informationsoffenheit entgegenzutreten zu können.

7.2.3 ADAS

In Hinblick auf den Straßengüterverkehr werden vor allem Systeme zum Kolonnenfahren aber auch autonomen Fahren interessant sein. Die Gesetze sollten bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Systemstabilität der Soft- und Hardware gewährleistet werden kann, klar geregelt sein, sodass beim Eintritt einer politischen Unruhe, wie es in Szenario zwei und drei der Fall ist, keine Verzögerungen im gesetzgebenden Kontext zu erwarten wären. Im Falle des dritten Szenarios, bei dem die Gesellschaft sich technologieavers entwickelt, müssen bereits heute Maßnahmen zur gesellschaftlichen Akzeptanz autonomer Lkws aber auch fortgeschrittener Fahrerassistenzsysteme im Allgemeinen unternommen werden. Diesbezüglich ist die Systemarchitektur robust zu gestalten, damit fehlerhafte Fahrbahnmarkierungen oder durch

Sonneneinstrahlung schwer zu identifizierende Oberflächen, den Einsatz solcher Systeme nicht gefährden.

7.2.4 City-Logistik

In allen drei Szenarien wird von einer monoton ansteigenden Beförderungsmenge ausgegangen. Das kann somit zu einer höheren Lieferbelastung im innerstädtischen Bereich führen. Um möglichen Verkehrsstillständen zuvorzukommen, sollten Konzepte zur Verkehrsvermeidung, -verlagerung und -verringering unter Einbezug aller Verkehrsverursacher erarbeitet werden. Es sollten mögliche Engpässe im zukünftigen Kontext identifiziert werden, um strategische Partnerschaften zu schließen und die Straßenkapazitäten in einem reaktiven Zustand zu erhalten. Dadurch können auch bei Straßenbauarbeiten Engpässe abgemildert werden. Als weitere Maßnahme sollte über die Möglichkeiten einer in Abhängigkeit der Verkehrsstärke gebundenen Straßennutzungsgebühr nachgedacht werden. Das könnte den Verkehr entlasten und automatisch den notwendigen vom optionalen Wirtschafts- und Privatverkehr unterscheiden. In diesem Kontext könnten auch vermehrt Fahrgemeinschaften und Lieferkooperationen entstehen oder der Umstieg auf neue Anlieferkonzepte unterstützt werden.

7.2.5 Mautsysteme

Mautsysteme könnten im zukünftigen Straßenbild in vielerlei Hinsicht verkehrsentlastende Wirkungen haben. Durch die Bemautung von Hauptverkehrsadern zu Hauptverkehrszeiten kann optionaler und damit nicht notwendiger Verkehr vermieden werden. Durch zusätzliche Mauteinnahmen können aber auch Straßenschäden finanziert und schneller beseitigt werden. Bezogen auf europäische und nationale Mautregelungen, auch in Hinblick auf grenzüberschreitenden Lieferverkehr, sollten gesetzliche Unklarheiten beseitigt und Zuständigkeiten im Sinne der Systemkosten geklärt sein. Um die physische Infrastruktur unabhängig der möglichen Szenarien auf einem qualitativ hochwertigen Zustand zu halten, muss eine flächendeckende Bemautung aller verkehrsrelevanten Straßen erfolgen. Dadurch wird Schleichverkehr vermieden und die Bedeutung von Kooperation erhöht.

7.3 Limitation der Arbeit

Die hier erarbeiteten Szenarien stellen mögliche Umfeldszenarien für Deutschland im Jahre 2030 dar. Diese Szenarien ermöglichen es Handlungsimplicationen für die Gestaltungsfeldkomponenten der vier ITS-Kategorien abzuleiten. Diese Handlungshinweise beziehen sich lediglich auf den deutschen Straßengüterverkehr. Hierin ist eine Limitierung der Arbeit zu sehen, da der deutsche Straßengüterverkehr nicht stellvertretend für den europäischen Straßengüterverkehr steht, und Handlungsimplicationen nicht so einfach auf andere EU-Länder übertragen werden können.

Die ermittelten Gestaltungsfeldkomponenten, Einflussbereiche und Einflussfaktoren, sowie die nachfolgende Ermittlung der Schlüsselfaktoren wurde mittels Workshop mit 15 Studenten aus dem Masterstudiengang BWL mit der Vertiefungsrichtung Logistik an der Universität

Bremen erarbeitet. Es bleibt offen, ob eine andere Teilnehmerzusammensetzung, beispielsweise mit Vertretern aus der Logistikbranche, die gleichen Ergebnisse hervorgebracht hätte.

Eine weitere Limitation dieser Arbeit ist der Ergebnisvalidierung zuzuordnen. Die entwickelten Projektionen und Szenarien sind gesellschaftsgruppenübergreifend und könnten von allen Stakeholdern bewertet werden. Dementsprechend hätten die Schlüsselfaktorenprojektionen vor der Erstellung der Szenarien auf ihre Wahrscheinlichkeit, Erwünschtheit und Bedeutung für den deutschen Straßengüterverkehr in einer Gruppenbefragung beurteilt werden können. Dabei hätten Szenarien in Abhängigkeit der Experteneinschätzungen erstellt werden können.

Bislang sind die hier vorgestellten Ergebnisse aus wissenschaftlicher Sicht bearbeitet und mit wissenschaftlichen Methoden validiert. Eine Möglichkeit zur Ergebnisvalidierung, die über die wissenschaftliche Perspektive hinausgeht, wäre die Anwendung einer Delphi-Analyse. Die Integration einer Delphi-Studie in den Prozess der Szenariogenerierung wird aufgrund der validen und reliablen Konsensfindung durch viele Arbeiten befürwortet (vgl. Kameoka u. a. 2004 , Loveridge 1999, Rikkonen 2005).

7.4 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Technologisch gesehen befindet sich der Mensch erst am Anfang dieses 21. Jahrhunderts. Die einzigen existenten Grenzen werden von der Gesellschaft selbst festgelegt. Es ist zu erwarten, dass in den kommenden Jahren die Menge an IT-basierten Lösungen und Services weiter ansteigen wird. Die Generation aus dem 21. Jahrhundert im Erwachsenenalter völlig selbstverständlich an der fünften industriellen Revolution arbeiten wird und die heutige Welt einen erneuten fundamentalen Wandel erfahren wird. Die unterschiedlichen Akteure des Straßengüterverkehrs werden wichtige Befürworter und auch Gegner der möglichen Entwicklungen sein. In Abhängigkeit des Szenarios müssten mehr oder weniger Anstrengungen und Bestrebungen zur Adaption intelligenter Transportsysteme aufgebracht werden. Bei einer Entwicklung zu einer technologieaversen Gesellschaft müssen mehr, bei einer technologieaffinen Gesellschaft weniger Anstrengungen unternommen werden.

Für die Delphi-Analyse wird eine onlinebasierte Variante des Standardverfahrens vorgeschlagen. **Abbildung 5.5** zeigt eine mögliche Herangehensweise. In der Vorphase werden Projektionen auf Basis der Szenarien erarbeitet, die dann in der Hauptphase von den Experten beurteilt und eingestuft werden. In Anlehnung an Gnatzy u. a. (2011) werden die Projektionen aus der Sicht der eintretenden Wahrscheinlichkeit, dem Einfluss auf ITS für den Straßengüterverkehr und dem Faktor der Erwünschtheit bewertet. Ebenso werden qualitative Antwortmöglichkeiten zugelassen. Während der Hauptphase können die Experten ihre Meinung uneingeschränkt zu jeder Zeit verändern und anhand weiterer Expertenmeinungen anpassen. Das Untersuchungsdesign wird in Anlehnung an Rowe und Wright (2001) erstellt, sodass hier die Fragen nach der Gruppenstärke, Homogenität der Gruppe, sprachlichen Kohärenz und weitere Faktoren geklärt werden. Die Ergebnisse und Experteneinschätzungen können im Anschluss dabei helfen, mögliche Handlungsimplicationen vor dem Hintergrund der Gestaltungsfeldkomponenten zu ermitteln.

Eine weitere Überlegung besteht darin, die übliche Expertengruppe bezogen auf das Teilnehmerfeld auszuweiten, um die Perspektiven unterschiedlicher Nutzergruppen in die Überlegungen mit einfließen zu lassen. Dieses Vorgehen könnte dem Vorwurf wichtige Akteursperspektiven in der Entwicklung neuer ITS zu unterwandern entgegentreten und zu noch repräsentativeren Ergebnissen führen. Aufgrund der verschiedenen Perspektiven ist hier von unterschiedlichen Rücklaufquoten je Nutzergruppe auszugehen. Zusätzlich werden statistische Auswertungen gruppenspezifisch erfolgen, um so eine bessere Betrachtung unterschiedlicher Perspektiven vornehmen zu können.

Abschließend kann nur darauf verwiesen werden, dass die Entwicklungsmöglichkeiten intelligenter Transportsysteme ein äußerst dynamisches und komplexes Feld sind, dessen Bedeutung für Unternehmen, Konsumenten, politische Entscheidungsträger und andere Nutznießer nicht zu unterschätzen sind. Neben der Beantwortung der drei Forschungsfragen hat diese Arbeit versucht, einen kleinen Beitrag zur Strukturierung der intelligenten Transportsysteme für den Straßengüterverkehr zu leisten und eine Methode aufzuzeigen, mit deren Hilfe ein Blick in die Zukunft gewagt werden kann.

Literaturverzeichnis

- Aberle, Gerd (2005): *Zukünftige Entwicklung des Güterverkehrs : Sind Sättigungsgrenzen erkennbar?* (Working Paper Nr. 106) Diskussionsbeiträge / Universität Freiburg i. Br., Institut für Verkehrswissenschaft und Regionalpolitik.
- Ahsan, M.M.; Hasanuzzaman, M.; Olabi, A.G.; u. a. (2014): „Review of the Reliability and Connectivity of Wireless Sensor Technology“. In: *Comprehensive Materials Processing*. Elsevier S. 571–588, doi: 10.1016/B978-0-08-096532-1.01327-3.
- Alam, Assad; Gattami, Ather; Johansson, Karl H.; u. a. (2014): „Guaranteeing safety for heavy duty vehicle platooning: Safe set computations and experimental evaluations“. In: *Control Engineering Practice*. 24 , S. 33–41, doi: 10.1016/j.conengprac.2013.11.003.
- Alisch, Lutz-Michael; Rölke, Peter (1987): „Grundlagentheoretische Probleme der Technikfolgenabschätzung“. In: *Techniktheorie · Technikforschung Technikgestaltung*. VS Verlag für Sozialwissenschaften (Beiträge zur sozialwissenschaftlichen Forschung), S. 59–102, doi: 10.1007/978-3-322-88692-7_3.
- Amer, Muhammad; Daim, Tugrul U.; Jetter, Antonie (2013): „A review of scenario planning“. In: *Futures*. 46 (Supplement C), S. 23–40, doi: 10.1016/j.futures.2012.10.003.
- Anders, G. (1964): „Was ist Planung?“. In: Jungk, R.; Mundt, H. J. (Hrsg.) *Modelle für eine neue Welt - Der Griff nach der Zukunft*. München S. 47–50.
- Andersen, Uwe; Woyke, Wichard (Hrsg.) (2013): *Handwörterbuch des politischen Systems der Bundesrepublik Deutschland*. 7., vollständig aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Springer VS.
- Anderson, S.; Jorna, R.A.M.; Verweij, C.A. (1996): „Satellite communication in road freight operations: the METAFORA experience“. In: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 26 (1), S. 49–61, doi: 10.1108/09600039610108575.
- Arnold, Bernhard (2005): *Prognose von Schlüsselqualifikationen in IT-Serviceunternehmen: ein umfeldorientierter Blick auf das Jahr 2015*. 1. Aufl. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl (Gabler Edition Wissenschaft Markt- und Unternehmensentwicklung).
- Arthur, W. Brian (2009): *The nature of technology: What it is and how it evolves*. Simon and Schuster.
- Asche, Wolfgang (1988): „Auto steuert sich selbst: T3 - Rechner faehrt Lkw auf der Autobahn mit Tempo 100 - Von Wolfgang Asche: T5 - Bundeswehr-Universitaet erforscht autonome Fahrzeuge“. In: *VDI-Nachrichten*.
- Auer, A.; Feese, S.; Lockwood, S. (2016): *History of Intelligent Transportation Systems*. (Nr. FHWA-JPO-16-329) Intelligent Transportation Systems Joint Program Office.
- Bauer, A.; Kosin, H. (1967): „Probleme der Gesellschaftsprognose und der Politik in Deutschland“. In: *Deutsche Zeitschrift für Philosophie*. 15 (1), S. 5–25, doi: 10.1524/dzph.1967.15.1.5.
- Bauer, Adolf (1968): *Philosophie und Prognostik: weltanschauliche und methodologische Probleme der Gesellschaftsprognose*. Berlin: Dietz.
- Baumgartner, Michael; Léonardi, Jacques; Krusch, Oliver (2008): „Improving computerized routing and scheduling and vehicle telematics: A qualitative survey“. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 13 (6), S. 377–382, doi: 10.1016/j.trd.2008.06.001.
- Bäumler, Helmut (2000): „Datenschutz im Internet“. In: *E-Privacy*. Vieweg+Teubner Verlag (DuD-Fachbeiträge), S. 1–8, doi: 10.1007/978-3-322-89183-9_1.
- Bäumler, Ilja (2015): „Überblick über die Telematiksysteme für den Straßengüterverkehr“. In: *Schriftenreihe des Lehrstuhls für Logistikmanagement*. Bremen: Universität Bremen.
- Bäumler, Ilja; Kotzab, Herbert (2016): „Assessing research on intelligent transport systems for road freight transport from the viewpoint of different stakeholders“. In: *Proceedings of the 28th annual Nordic logistics research network conference*. Turku, Finland.
- Bäumler, Ilja; Kotzab, Herbert (2017a): „Intelligent Transport Systems for Road Freight Transport—An Overview“. In: *Dynamics in Logistics*. Springer, Cham (Lecture Notes in Logistics), S. 279–290, doi: 10.1007/978-3-319-45117-6_25.
- Bäumler, Ilja; Kotzab, Herbert (2017b): „INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEM DEVELOPMENT, MAIN INFLUENCES AND KEY TECHNOLOGIES“. In: *NOFOMA 2017 THE 29TH NOFOMA CONFERENCE: TAKING ON GRAND CHALLENGES*. Lund University S. 830.
- Bäumler, Ilja; Kotzab, Herbert (2018): „Truck parking space creation through intelligent structuring of given capacity“. In: Wien doi: 10.13140/rg.2.2.33805.44009.
- Bedner, Mark; Ackermann, Tobias (2010): „Schutzziele der IT-Sicherheit“. In: *Datenschutz und Datensicherheit - DuD*. 34 (5), S. 323–328, doi: 10.1007/s11623-010-0096-1.

- Behere, Sagar; Törngren, Martin; Chen, De-Jiu (2013): „A reference architecture for cooperative driving“. In: *Journal of Systems Architecture*. (Embedded Systems Software Architecture), 59 (10, Part C), S. 1095–1112, doi: 10.1016/j.sysarc.2013.05.014.
- Bektaş, Tolga; Crainic, Teodor Gabriel; Van Woensel, Tom (2017): „From managing urban freight to smart city logistics networks“. In: *Network Design and Optimization for Smart Cities*. World Scientific S. 143–188.
- Bernsmann, Arnd; Kraft, Volker; Schoneboom, Jens; u. a. (2006): „Forschungsprojekt „Auswirkungen von IuK-Technologien für Logistikprozesse und die Verkehrswirtschaft““.
- Besselink, B.; Turri, V.; Hoef, S. H. van de; u. a. (2016): „Cyber-Physical Control of Road Freight Transport“. In: *Proceedings of the IEEE*. 104 (5), S. 1128–1141, doi: 10.1109/JPROC.2015.2511446.
- Bielli, Maurizio; Bielli, Alessandro; Rossi, Riccardo (2011): „Trends in Models and Algorithms for Fleet Management“. In: *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. (The State of the Art in the European Quantitative Oriented Transportation and Logistics Research – 14th Euro Working Group on Transportation & 26th Mini Euro Conference & 1st European Scientific Conference on Air Transport), 20 (Supplement C), S. 4–18, doi: 10.1016/j.sbspro.2011.08.004.
- Binner, Hartmut F. (2016): *Methoden-Baukasten für ganzheitliches Prozessmanagement: systematische Problemlösungen zur Organisationsentwicklung und -gestaltung*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- bitkom (2017): „Spionage, Sabotage, Datendiebstahl: Deutscher Wirtschaft entsteht jährlich ein Schaden von 55 Milliarden Euro“. Abgerufen am 25.01.2018 von <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Spionage-Sabotage-Datendiebstahl-Deutscher-Wirtschaft-entsteht-jaehrlich-ein-Schaden-von-55-Milliarden-Euro.html>.
- Blatter, Joachim; Langer, Phil C.; Wagemann, Claudius (2018): *Qualitative Methoden in der Politikwissenschaft*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden doi: 10.1007/978-3-658-14955-0.
- BMVI (2017): *BMVI - Maßnahmenplan der Bundesregierung zum Bericht der Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren (Ethik-Regeln für Fahrcomputer)*. Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- Bradfield, Ron; Wright, George; Burt, George; u. a. (2005): „The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning“. In: *Futures*. 37 (8), S. 795–812, doi: 10.1016/j.futures.2005.01.003.
- British Petroleum (2016): *BP Statistical Review of World Energy 2016*. (Nr. 65th).
- British Petroleum (2017): *BP Statistical Review of World Energy 2017*. (Nr. 66th).
- Brzeski, Carsten; Burk, Inga (2015): *Die Roboter kommen*. ING-DiBa AG.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2011): *BMVBS - Güterverkehr und Logistik-Lkw-Parken in einem modernen, bedarfsgerechten Rastanlagen-system*.
- Bundesagentur für Arbeit (2017): *Der Arbeitsmarkt im Jahr 2016 - Bundesagentur für Arbeit*. (Pressemitteilung).
- Bundeskriminalamt (2017): *Cybercrime Bundeslagebild 2016*.
- Bundesministerium der Finanzen (2017): *Leichter struktureller Haushaltsüberschuss beim Bund im Jahr 2016*. (Monatsbericht des BMF).
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur; DVV Media Group GmbH (2017): *Verkehr in Zahlen 2017/18*.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017): *Jahreswirtschaftsbericht 2017*. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014): „Technologieaufgeschlossenheit und Innovationsfreundlichkeit in Deutschland“. Abgerufen am 26.01.2018 von <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Technologie/veranstaltungsreihe-technologieaufgeschlossenheit-und-innovationsfreundlichkeit.html>.
- BVL (2014): „Investitionsstau bei Infrastrukturprojekten“. Abgerufen am 02.12.2017 von <https://www.bvl.de/dossiers/infrastruktur-in-deutschland>.
- Canzler, Weert (1991): „Was Zukunftsforscher denken - Ergebnisse einer Expertenbefragung“. In: Kreibich, Rolf; Canzler, Weert; Burmeister, Klaus (Hrsg.) *Zukunftsforschung und Politik: in Deutschland, Frankreich, Schweden und der Schweiz*. Weinheim: Beltz (ZukunftsStudien), S. 155–203.
- Capdevila, M.; Tomas, Vicente R.; Garca, Luis A.; u. a. (2013): „Dynamic management of parking spaces in road rest areas with automatic negotiation“. In: *2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (smc 2013)*. New York: IEEE S. 3609–3614.
- Chaffey, Dave (2007): *E-business and E-commerce Management: Strategy, Implementation and Practice*. Pearson Education.
- Chen, Na; Wang, Lu; Jia, Limin; u. a. (2016): „Parking Survey Made Efficient in Intelligent Parking Systems“. In: *Procedia Engineering*. 137, S. 487–495.

- Chen, Stephen (2018): „China builds ‘world’s biggest air purifier’ (and it works)“. *South China Morning Post*. Abgerufen am 31.01.2018 von <http://www.scmp.com/news/china/society/article/2128355/china-builds-worlds-biggest-air-purifier-and-it-seems-be-working>.
- Chermack, T.J. (2002): „The mandate for theory in scenario planning“. In: *Futures Research Quarterly*. 18 (2), S. 25–28.
- Čičić, Mladen; Liang, Kuo-Yun; Johansson, Karl Henrik (2017): „Platoon merging distance prediction using a neural network vehicle speed model“. In: *IFAC-PapersOnLine*. 50 (1), S. 3720–3725.
- Commission of the European Communities (1992): „Evaluation of the second framework programme for research and technological development. Article 5 of Council Decision 90/211/Euratom, EEC. Communication from the Commission. SEC (92) 675 final, 22 April 1992“. Abgerufen am 17.02.2017 von <http://aei.pitt.edu/5821/>.
- Coppel, Jonathan (2000): „E-Commerce“. In: doi: 10.1787/801315684632.
- Crainic, Teodor Gabriel; Gendreau, Michel; Potvin, Jean-Yves (2009): „Intelligent freight-transportation systems: Assessment and the contribution of operations research“. In: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 17 (6), S. 541–557, doi: 10.1016/j.trc.2008.07.002.
- Cuhls, Kerstin (2009a): „Delphi-Befragungen in der Zukunftsforschung“. In: Popp, Reinhold; Schüll, Elmar (Hrsg.) *Zukunftsforschung und Zukunftsgestaltung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg S. 207–221, doi: 10.1007/978-3-540-78564-4_15.
- Cuhls, Kerstin (2009b): „Foresight- bzw. Vorausschau-Prozesse“. In: Heinen, Armin; Mai, Vanessa; Müller, Thomas (Hrsg.) *Szenarien der Zukunft: Technikvisionen und Gesellschaftsentwürfe im Zeitalter globaler Risiken*. Berlin: Frank & Timme S. 57–80.
- Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union (1999): *Directive 1999/62/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 1999 on the charging of heavy goods vehicles for the use of certain infrastructures*. 187.
- Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union (2004): *Directive 2004/52/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the interoperability of electronic road toll systems in the Community*. 166.
- Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union (2006): *Directive 2006/38/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 amending Directive 1999/62/EC on the charging of heavy goods vehicles for the use of certain infrastructures*. 157.
- Dator, J. (1979): „The futures of cultures and cultures of the future“. In: Marsella, Anthony J.; Tharp, Roland G.; Ciborowski, Thomas J. (Hrsg.) *Perspectives on cross-cultural psychology*. New York: Academic Press.
- Datow, M. (1995): „Verkehrstelematik - Projekte und Strategien: kommerzielle Anwendungskonzepte; neue Modelle der Kooperation und Markteinführung“. In: Berlin: inTIME.
- Davis, Fred D. (1989): „Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology“. In: *MIS Quarterly*. 13 (3), S. 319–340, doi: 10.2307/249008.
- Department of Environment, Transport and Regions (2002): *Energy Efficiency Best Practice Programme: Fuel Management Guide*. London.
- Der Bundeswahlleiter (2017): *Bundestagswahl 2017: Endgültiges Ergebnis - Der Bundeswahlleiter*. (Pressemitteilung Nr. 34/17).
- Der Spiegel (1978): „Empfehlung von ALI“. Abgerufen am 18.02.2017 von <http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-40616077.html>.
- Dickmanns, E. D. (2002): „The development of machine vision for road vehicles in the last decade“. In: *IEEE Intelligent Vehicle Symposium, 2002*. S. 268–281 Bd.1, doi: 10.1109/IVS.2002.1187962.
- Dierke, Jens; Kleine, Jessica; Lehmann, Rainer (2016): „Intelligent Controlled Compact Parking for Modern Parking Management on German Motorways“. In: Lemke, K.; Geistefeldt, J.; JajkoSchlichter, J. (Hrsg.) *International Symposium on Enhancing Highway Performance (isehp), (7th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service, 3rd International Symposium on Freeway and Tollway Operations)*. Amsterdam: Elsevier Science Bv S. 620–627.
- Dörner, Karlheinz; Hipp, Eberhard; Schwertberger, Walter (2012): „Bahnführungsassistenten für Nutzfahrzeuge“. In: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Vieweg+Teubner Verlag S. 582–598, doi: 10.1007/978-3-8348-8619-4_39.
- Dunn, Steven C.; Seaker, Robert F.; Stenger, A.; u. a. (1993): „An assessment of logistics research paradigms“. In: *Proceedings of The Twenty-second Annual Transportation and Logistics Educators Conference, Washington, DC, The Ohio State University/The Council of Logistics Management, Ohio, USA*.
- Durance, P.; Godet, M. (2010): „Scenario building: Uses and abuses“. In: *Technological Forecasting and Social Change*. 77 (9), S. 1488–1492, doi: 10.1016/j.techfore.2010.06.007.

- Durand, Jacques (1972): „A new method for constructing scenarios“. In: *Futures*. 4 (4), S. 325–330, doi: 10.1016/0016-3287(72)90051-1.
- Dustdar, Schahram; Gall, Harald; Hauswirth, Manfred (2003): *Software-Architekturen für Verteilte Systeme: Prinzipien, Bausteine und Standardarchitekturen für moderne Software*.
- DVZ Logistik & Verlader (2017): „Parkplatz-Sharing: Bosch und Gebrüder Weiss starten Projekt“. DVZ. Abgerufen am 04.09.2017 von <http://www.dvz.de/rubriken/logistik-verlader/single-view/nachricht/sicheres-parken-bosch-und-gebrueder-weiss-starten-projekt.html>.
- Ehmke, Jan Fabian; Mattfeld, Dirk Christian (2012): „Vehicle Routing for Attended Home Delivery in City Logistics“. In: *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. (Seventh International Conference on City Logistics which was held on June 7- 9, 2011, Mallorca, Spain), 39, S. 622–632, doi: 10.1016/j.sbspro.2012.03.135.
- Ehmke, Jan Fabian; Steinert, André; Mattfeld, Dirk Christian (2012): „Advanced routing for city logistics service providers based on time-dependent travel times“. In: *Journal of Computational Science*. (City Logistics), 3 (4), S. 193–205, doi: 10.1016/j.jocs.2012.01.006.
- Ermecke, Gustav (2013): „Ideologie und Utopie“. In: *Jahrbuch für Christliche Sozialwissenschaften*. 10 (0), S. 259–271.
- esa (o. J.): „Galileo-Konstellation mit Start am 12. Dezember fast vollständig“. *European Space Agency*. Abgerufen am 12.07.2018 von http://www.esa.int/ger/ESA_in_your_country/Germany/Galileo-Konstellation_mit_Start_am_12._Dezember_fast_vollstaendig.
- Europäische Kommission (Hrsg.) (2011): *Weißbuch zum Verkehr: Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum, hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem*. Luxemburg: Amt für Veröff. der Europ. Union.
- Europäische Kommission; Europäische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Wissenschaftlichen und Technischen Forschung (Hrsg.) (1998): *COST 321: urban goods transport ; final report of the action*. Luxembourg: Off. for Official Publ. of the Europ. Communities (EUR).
- Evers, Harry (1998): *Kompendium der Verkehrstelematik : Technologien, Applikationen, Perspektiven / Harry Evers ... (Hrsg.)Bd. 1*. Ko?In: Verl. TU?V Rheinland.
- Fachbereich Stadtentwicklung der Stadt Nienburg/Weser (2006): *Erläuterungsbericht zum Flächennutzungsplan der Stadt Nienburg/Wer*. Stadt Nienburg/Weser.
- Faheem, Faheem; Mahmud, S. A.; Khan, G. M.; u. a. (2014): „A Survey of Intelligent Car Parking System“. In: *Journal of Applied Research and Technology*. 11 (5).
- Flechtheim, Ossip Kurt (1980): *Der Kampf um die Zukunft: Futurologie*. Bonn ; Berlin: Dietz.
- Follmann, J.; Menge, J. (2009): „Verbesserung der Parkmöglichkeiten für Lkw an Autobahnen.“. *Straßenverkehrstechnik*. S. 25–31.
- Foth, M.; Berthelot, C.; Hanson, R. (2011): „Generating Carbon Offset Credits in Canada Using Weigh-In-Motion“. In: .
- Frank, Ulrich (2003): „Einige Gründe für die Wiederbelebung der Wissenschaftstheorie“. In: *Betriebswirtschaft : DBW*. (3), S. 278–292.
- Frey, Carl Benedikt; Osborne, Michael A. (2017): „The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?“. In: *Technological Forecasting and Social Change*. 114 (Supplement C), S. 254–280, doi: 10.1016/j.techfore.2016.08.019.
- Garcia-Ortiz, A.; Amin, S. M.; Wootton, J. R. (1995): „Intelligent transportation systems—Enabling technologies“. In: *Mathematical and Computer Modelling*. 22 (4–7), S. 11–81.
- Gardels, Keith (1960): „Automatic car controls for electric highways“. In: *General Motors Research Laboratories*.
- Gausemeier, Jürgen; Fink, Alexander; Schlake, Oliver (1995): *Szenario-Management: Planen und Führen mit Szenarien*. München [u.a.]: Hanser.
- Gausemeier, Jürgen; Grote, Anne-Christin (2012): „Strategische Führung mit Szenarien“. In: *Controlling*. 24 (10), S. 516–522, doi: 10.15358/0935-0381-2012-10-516.
- Gehmacher, Ernst (1971): *Methoden der Prognostik: eine Einführung in die Probleme der Zukunftsforschung und Langfristplanung*. Freiburg: Rombach.
- Giannopoulos, George; Mitsakis, Evangelos; Salanova Grau, Josep Maria (2012): „Overview of Intelligent Transport Systems (ITS) developments in and across transport modes“. In: *JRC Scientific and Policy Reports*.
- Gleissner, H (2015): „Werkverkehr 2015“. Berlin 14.10.2015.
- GlobalWebIndex (2017): „Online-Käufer - Anteil nach Endgeräten weltweit 2017“. *Statista*. Abgerufen am 18.01.2018 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/507728/umfrage/anteil-der-online-kaeuer-nach-endgeraeten-weltweit/>.
- Gnatzy, Tobias; Warth, Johannes; von der Gracht, Heiko; u. a. (2011): „Validating an innovative real-time Delphi approach - A methodological comparison between real-time and conventional Delphi studies“. In:

- Technological Forecasting and Social Change*. (The Delphi technique: Past, present, and future prospects), 78 (9), S. 1681–1694, doi: 10.1016/j.techfore.2011.04.006.
- Goll, Reinhard; Scheffler, Klaus Norbert (2003): *Anfänge der Zukunftsforschung: Müller-Lyer und das Problem der Zukunftsbeherrschung*. 1. Aufl. Barssel: Edition Hermeneus.
- Gordon, Theodore J. (1994a): „Methods Frontiers and Integration“. In: *Futures Research and Studies Methodology Series, UNU Millennium Project Feasibility Study-Phase II, UNDP/African Futures*.
- Gordon, Theodore J. (1994b): *Trend Impact Analysis*. American Council for the United Nations University.
- Gordon, Theodore J.; Glenn, J. (2004): „Integration, comparisons, and frontiers of futures research methods“. In: *Futures research methodology (version 2.0), AC/UNU millennium project, Washington, DC*.
- Gordon, Theodore Jay (1992): „The Methods of Futures Research“. In: *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*. 522, S. 25–35.
- von der Gracht, Heiko A.; Darkow, Inga-Lena (2010): „Scenarios for the logistics services industry: A Delphi-based analysis for 2025“. In: *International Journal of Production Economics*. 127 (1), S. 46–59, doi: 10.1016/j.ijpe.2010.04.013.
- Haass, Elmar (1995): „Verkehrsentwicklung in Deutschland und Europa — Herausforderungen und Maßnahmen“. In: Müller, Prof Dr Günter; Hohlweg, Dipl-Phys, Dipl-Volksw Georg (Hrsg.) *Telematik im Straßenverkehr*. Springer Berlin Heidelberg S. 23–35, doi: 10.1007/978-3-642-79411-7_2.
- Häder, Michael (2014): *Delphi-Befragungen: ein Arbeitsbuch*. Wiesbaden: Springer VS.
- Harris, Irina; Wang, Yingli; Wang, Haiyang (2015): „ICT in multimodal transport and technological trends: Unleashing potential for the future“. In: *International Journal of Production Economics*. 159, S. 88–103, doi: 10.1016/j.ijpe.2014.09.005.
- Hasson, Felicity; Keeney, Sinead; McKenna, Hugh (2000): „Research guidelines for the Delphi survey technique“. In: *Journal of Advanced Nursing*. 32 (4), S. 1008–1015, doi: 10.1046/j.1365-2648.2000.t01-1-01567.x.
- Häusler, Joachim (1969): *Planung als Zukunftsgestaltung: Voraussetzungen, Methodik und Formen der Planung in soziotechnischen Systemen*. Gabler Verlag (Fortschrittliche Unternehmensführung).
- HDE (2017): „E-Commerce Deutschland - Umsatz bis 2017“. *Statista*. Abgerufen am 18.01.2018 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/3979/umfrage/e-commerce-umsatz-in-deutschland-seit-1999/>.
- Heide, Jan B.; John, George (1992): „Do norms matter in marketing relationships?“. In: *The Journal of Marketing*. S. 32–44.
- Hill, Wilhelm; Fehlbaum, Raymond; Ulrich, Peter (1976): *Organisationslehre: Ziele, Instrumente und Bedingungen der Organisation sozialer Systeme*. 2: ... 2., verb. Aufl. Bern: Haupt (Uni-Taschenbücher Betriebswirtschaft).
- Holguín-Veras, José; Wang, Qian (2011): „Behavioral investigation on the factors that determine adoption of an electronic toll collection system: Freight carriers“. In: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 19 (4), S. 593–605, doi: 10.1016/j.trc.2010.09.010.
- Hölzel, Andreas (2018): „Täglich 4.000 Kilometer Stau auf den Autobahnen“. Abgerufen am 30.01.2018 von <https://presse.adac.de/meldungen/adac-ev/verkehr/taeglich-4000-kilometer-stau-auf-den-autobahnen.html>.
- Holznagel, Bernd; Dietze, Lars (2003): *Recht der IT-Sicherheit*. München: Beck.
- Hsu, Chia-Yu; Yang, Chin-Sheng; Yu, Liang-Chih; u. a. (2015): „Development of a cloud-based service framework for energy conservation in a sustainable intelligent transportation system“. In: *International Journal of Production Economics*. 164, S. 454–461, doi: 10.1016/j.ijpe.2014.08.014.
- Hu, Zhi-Hua; Sheng, Zhao-Han (2014): „A decision support system for public logistics information service management and optimization“. In: *Decision Support Systems*. 59, S. 219–229, doi: 10.1016/j.dss.2013.12.001.
- Huss, William R. (1988): „A move toward scenario analysis“. In: *International Journal of Forecasting*. (Special Issue on: The Future of Forecasting), 4 (3), S. 377–388, doi: 10.1016/0169-2070(88)90105-7.
- Huss, William R.; Honton, E. J. (1987a): „Alternative methods for developing business scenarios“. In: *Technological Forecasting and Social Change*. 31 (3), S. 219–238, doi: 10.1016/0040-1625(87)90012-6.
- Huss, William R.; Honton, Edward J. (1987b): „Scenario planning—What style should you use?“. In: *Long Range Planning*. 20 (4), S. 21–29, doi: 10.1016/0024-6301(87)90152-X.
- Hütter, Andrea (2013): *Verkehr auf einen Blick*. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Uhde, G. B. (2001): *Transport, Verkehr, Logistik. Gesamtwirtschaftliche Aspekte und einzelwirtschaftliche Handhabung*. 3., völlig überarb. und erw. Aufl. München: Vahlen (Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften).

- Imanishi, Yoshikazu; Taniguchi, Eiichi (2016): „Framework of the Urban Road Freight Transport - Lessons Learned from Case Studies“. In: *Transportation Research Procedia*. 12 , S. 627–633, doi: 10.1016/j.trpro.2016.02.016.
- INRIX (2014): *Verkehr kostet deutsche Wirtschaft 33 Milliarden Euro im Jahr 2030*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.) (2014a): *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press doi: 10.1017/CBO9781107415324.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.) (2014b): „Summary for Policymakers“. In: *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*. Cambridge: Cambridge University Press S. 1–30, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- Iseki, Hiroyuki; Demisch, Alexander (2012): „Examining the linkages between electronic roadway tolling technologies and road pricing policy objectives“. In: *Research in Transportation Economics*. (Selected papers from the 12th WCTR Topic Area Transport Economics and Finance), 36 (1), S. 121–132, doi: 10.1016/j.retrec.2012.03.008.
- Jantsch, Erich; Development, Organisation for Economic Co-operation and (Hrsg.) (1967): *Technological forecasting in perspective: a framework for technological forecasting, its technique and organisation; a description of activities and an annotated bibliography*. Organisation for Economic Co-operation and Development.
- de Jouvenel, Hugues (1986): „Prospective for a new citizenship“. In: *Futures*. 18 (2), S. 125–133, doi: 10.1016/0016-3287(86)90093-5.
- Kahn, Herman (1984): *Thinking about the unthinkable in the 1980s*. New York: Simon and Schuster.
- Kahn, Herman; Bruce-Briggs, B. (1972): *Things to come: thinking about the seventies and eighties*. 1st pr. New York, NY: Macmillan.
- Kala, Rahul (2016): „4 - Advanced Driver Assistance Systems“. In: *On-Road Intelligent Vehicles*. Butterworth-Heinemann S. 59–82, doi: 10.1016/B978-0-12-803729-4.00004-0.
- Kameoka, Akio; Yokoo, Yoshiko; Kuwahara, Terutaka (2004): „A challenge of integrating technology foresight and assessment in industrial strategy development and policymaking“. In: *Technological Forecasting and Social Change*. (Rethinking Technology Policy and Innovation), 71 (6), S. 579–598, doi: 10.1016/S0040-1625(02)00397-9.
- Kapsalis, V.; Fidas, C.; Hadellis, L.; u. a. (2010): „A networking platform for real-time monitoring and rule-based control of transport fleets and transferred goods“. In: *2010 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. S. 295–300, doi: 10.1109/ITSC.2010.5625183.
- KBA (2018): „Kraftfahrt-Bundesamt - Fahrerlaubnisbestand im Zentralen Fahrerlaubnisregister (ZFER) - Bestand an allgemeinen Fahrerlaubnissen im ZFER am 1. Januar in den Jahren 2009 bis 2018 nach Fahrerlaubnisklassen“. Abgerufen am 21.06.2018 von https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftfahrer/Fahrerlaubnisse/Fahrerlaubnisbestand/fe_b_z_1.html.
- KBA (2017): „Kraftfahrt-Bundesamt - Fahrzeugklassen und Aufbauarten - Neuzulassungen in den Jahren 1960 bis 2017 nach Fahrzeugklassen“. Abgerufen am 09.07.2018 von https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/FahrzeugklassenAufbauarten/n_fzkl_zei_treihe.html.
- Kim, Gunyoung; Kang, Kyungwoo (2004): „ACTIVE DSRC APPLICATION FOR ITS AND ECONOMIC VALUATION IN KOREA“. In: *Research in Transportation Economics*. 8 , S. 363–378, doi: 10.1016/S0739-8859(04)08015-1.
- King, David A.; Gordon, Cameron E.; Peters, Jonathan R. (2014): „Does road pricing affect port freight activity: Recent evidence from the port of New York and New Jersey“. In: *Research in Transportation Economics*. 44 , S. 2–11, doi: 10.1016/j.retrec.2014.04.002.
- Kleine, Jessica; Lehmann, Rainer; Lohoff, Jan; u. a. (2014): „Rastanlagen an BAB –Verbesserung der Auslastung und Erhöhung der Kapazität durch Telematiksysteme“. Abgerufen am 10.09.2017 von <http://bast.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2014/827/>.
- Koester, Peter (2013): „Nienburg: Rechnergestütztes Lkw-Leitsystem“. Abgerufen am 07.03.2018 von <http://www.vsl.tu-harburg.de/gv/4/test?menu=4a&inhalt=4a2>.
- Kommission der europäischen Gemeinschaften (2007): *Verordnung (EG) Nr. 1304/2007 der Kommission vom 7. November 2007 zur Änderung der Richtlinie 95/64/EG des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1172/98 des Rates sowie der Verordnungen (EG) Nr. 91/2003 und (EG) Nr. 1365/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Einführung der NST 2007 als einheitliche Klassifikation für in bestimmten Verkehrszweigen beförderte Güter*. OJ L.
- Kornmeier, Martin (2007): *Wissenschaftstheorie und wissenschaftliches Arbeiten: eine Einführung für Wirtschaftswissenschaftler*. Heidelberg: Physica-Verl (BA kompakt).

- Kraftfahrtbundesamt (2017): „Transportiertes Gütergewicht aus der EU-15 seit 2008 nach Güterpositionen“. Abgerufen am 29.01.2018 von https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/europaeischerLastkraftfahrzeuge/Gueterbefoerderung/ve4_z_eu15_guetergewicht_ab_2008.html?nn=664828.
- Kreibich, Rolf (1986): *Die Wissenschaftsgesellschaft: von Galilei zur High-Tech-Revolution*. 1. Aufl. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Kutter, Eckhard (2005): *Entwicklung innovativer Verkehrsstrategien für die mobile Gesellschaft: Aufgaben, Massnahmenspektrum, Problemlösungen*. Berlin: E. Schmidt.
- Laudon, Kenneth C; Traver, Carol Guercio (2018): *E-commerce 2017 business, technology, society*. Boston: Pearson.
- Lenk, Kurt (1966): „ASPEKTE DER GEGENWÄRTIGEN PLANUNGSDISKUSSION IN DER BUNDESREPUBLIK“. In: *Politische Vierteljahresschrift*. 7 (3), S. 364–376.
- Léonardi, Jacques; Baumgartner, Michael (2004): „CO2 efficiency in road freight transportation: Status quo, measures and potential“. In: *Transportation Research: Part D*. 9 (6), S. 451–464, doi: 10.1016/j.trd.2004.08.004.
- Levine, W.; Athans, M. (1966): „On the optimal error regulation of a string of moving vehicles“. In: *IEEE Transactions on Automatic Control*. 11 (3), S. 355–361, doi: 10.1109/TAC.1966.1098376.
- Liang, Kuo-Yun; van de Hoef, Sebastian; Terelius, Håkan; u. a. (2016): „Networked control challenges in collaborative road freight transport“. In: *European Journal of Control*. (15th European Control Conference, ECC16), 30, S. 2–14, doi: 10.1016/j.ejcon.2016.04.008.
- Little, Cheryl (1997): „The Intelligent Vehicle Initiative: Advancing „Human-Centered“ Smart Vehicles“. In: *PUBLIC ROADS*. Vol. 61 (No. 2).
- Little, John DC (1970): „Models and managers: The concept of a decision calculus“. In: *Management science*. 16 (8), S. B–466.
- Longfei, Wang; Hong, Chen; Yang, Li (2009): „Integrating mobile agent with multi-agent system for intelligent parking negotiation and guidance“. In: *Industrial Electronics and Applications, 2009. ICIEA 2009. 4th IEEE Conference on*. IEEE S. 1704–1707.
- Loveridge, Denis (1999): „Foresight and Delphi processes as information sources for scenario planning“. In: *Ideas in Progress Paper*. (11).
- Lu, R.; Lin, X.; Zhu, H.; u. a. (2010): „An Intelligent Secure and Privacy-Preserving Parking Scheme Through Vehicular Communications“. In: *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 59 (6), S. 2772–2785, doi: 10.1109/TVT.2010.2049390.
- Ludwig, C.; Steffen, W. (2018): „The 1950s as the Beginning of the Anthropocene“. In: Dellasala, Dominick A.; Goldstein, Michael I. (Hrsg.) *Encyclopedia of the Anthropocene*. Oxford: Elsevier S. 45–56, doi: 10.1016/B978-0-12-809665-9.09940-7.
- Lyons, Liliana; Lozano, Angélica; Granados, Francisco; u. a. (2012): „Impact of the recent environmental policies on the freight transportation in Mexico City“. In: *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 39, S. 437–449, doi: 10.1016/j.sbspro.2012.03.120.
- Makridakis, Spyros G.; Reschke, Hasso; Wheelwright, Steven C. (1980): *Prognosetechniken für Manager*. Wiesbaden: Gabler (Gabler-Praxis).
- Małeck, Krzysztof; Iwan, Stanisław; Kijewska, Kinga (2014): „Influence of Intelligent Transportation Systems on Reduction of the Environmental Negative Impact of Urban Freight Transport Based on Szczecin Example“. In: *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. (Green Cities - Green Logistics for Greener Cities, Szczecin, 19–21 May 2014), 151, S. 215–229, doi: 10.1016/j.sbspro.2014.10.021.
- Mangiaracina, Riccardo; Perego, Alessandro; Salvadori, Giulio; u. a. (2017): „A comprehensive view of intelligent transport systems for urban smart mobility“. In: *International Journal of Logistics Research and Applications*. 20 (1), S. 39–52, doi: 10.1080/13675567.2016.1241220.
- Mannheim, Karl (1969): *Ideologie und Utopie*. Frankfurt M.: Schulte-Bulmke.
- Marr, David (1982): „Visual information processing: The structure and creation of visual representations“. In: *Recognition of Pattern and Form*. Springer S. 59–87.
- Maurer, Markus (2012): „Entwurf und Test von Fahrerassistenzsystemen“. In: Winner, Hermann; Hakuli, Stephan; Wolf, Gabriele (Hrsg.) *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Vieweg+Teubner Verlag S. 43–54.
- McGrath, Joseph E. (1981): „Dilemmatics: The Study of Research Choices and Dilemmas“. In: *The American Behavioral Scientist*. 25 (2), S. 179.
- McGrath, Joseph E.; Brinberg, David (1983): „External Validity and the Research Process: A Comment on the Calder/Lynch Dialogue“. In: *Journal of Consumer Research*. 10 (1), S. 115–124.
- Mentzer, John T. (2008): „Rigor Versus Relevance: Why Would We Choose Only One?““. In: *Journal of Supply Chain Management*. 44 (2), S. 72–77, doi: 10.1111/j.1745-493X.2008.00058.x.

- Mettler, Peter H. (1979): *Kritische Versuche zur Zukunftsforschung*. Frankfurt/Main: Haag und Herchen.
- Middelhoek, Simon (2000): „Celebration of the tenth transducers conference: The past, present and future of transducer research and development“. In: *Sensors and Actuators A: Physical*. 82 (1–3), S. 2–23, doi: 10.1016/S0924-4247(99)00395-7.
- Mitchell, V.W. (1991): „The delphi technique: an exposition and application“. In: *Technology Analysis & Strategic Management*. 3 (4), S. 333–358, doi: 10.1080/09537329108524065.
- Möhrle, M. G.; Müller, S. (2002): „Strategische Planung für Unternehmensgründer -Anwendung der Szenarioanalyse-“. In: Corsten, Hans (Hrsg.) *Dimensionen der Unternehmungsgründung: Erfolgsaspekte der Selbständigkeit*. Berlin: Erich Schmidt Verlag (Grundlagen und Praxis der Betriebswirtschaft), S. 71–102.
- Möhrle, Martin G.; Müller-Merbach, Heiner; Isenmann, Ralf (Hrsg.) (2005): *Technologie-Roadmapping: Zukunftsstrategien für Technologieunternehmen; gewidmet Professor Dr. Heiner Müller-Merbach*. 2., wesentlich erw. Aufl. Berlin: Springer.
- Mörbe, Matthias (2012): „Fahrdynamik-Sensoren für FAS“. In: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Vieweg+Teubner Verlag S. 94–109, doi: 10.1007/978-3-8348-8619-4_11.
- Müller, Stephan (2012): „Makroskopische Verkehrsmodellierung mit der Einflussgröße Telematik“. Technische Universität Berlin.
- Nagarajan, Anuradha; Canessa, Enrique; Nowak, Maciek; u. a. (2005): „Technology in trucking“. In: *Trucking in the Age of Information*, Ashgate Publishing Company, Burlington, VT. S. 147–182.
- Nathanail, Eftihia; Adamos, Giannis; Gogas, Michael (2017): „A novel approach for assessing sustainable city logistics“. In: *Transportation Research Procedia*. 25, S. 1036–1045, doi: 10.1016/j.trpro.2017.05.477.
- Nathanail, Eftihia; Gogas, Michael; Adamos, Giannis (2016): „Smart Interconnections of Interurban and Urban Freight Transport towards Achieving Sustainable City Logistics“. In: *Transportation Research Procedia*. 14, S. 983–992, doi: 10.1016/j.trpro.2016.05.078.
- Neusüss, Arnhelm (Hrsg.) (1986): *Utopie: Begriff u. Phänomen d. Utopischen*. 3., überarb. u. erw. Aufl. Frankfurt/Main New York: Campus-Verlag.
- Nijkamp, Peter; Pepping, Gerard (1996): „The relevance and use of information and telecommunication networks as strategic tools in the transport sector: a Dutch case study“. In: *Annals of Regional Science*. 30 (1), S. 111.
- North, Douglass C. (1991): „Institutions“. In: *Journal of economic perspectives*. 5 (1), S. 97–112.
- Nowacki, Gabriel; Smoczyńska, Ewa; Niedzicka, Anna (2010): „The Pilot Project of the National Automatic Toll Collection System“. In: *IFAC Proceedings Volumes*. 43 (23), S. 50–57, doi: 10.3182/20101005-4-RO-2018.00018.
- Nuzzolo, Agostino; Comi, Antonio; Papa, Enrica (2014): „Simulating the Effects of Shopping Attitudes on Urban Goods Distribution“. In: *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 111, S. 370–379, doi: 10.1016/j.sbspro.2014.01.070.
- O. A. (2016): „GPS.gov: Selective Availability“. Abgerufen am 21.08.2018 von <https://www.gps.gov/systems/gps/modernization/sa/>.
- O. A. (2018a): *Handel digital*. Berlin: IFH Köln GmbH.
- O. A. (2017): *Marktbeobachtung Güterverkehr*. (Jahresbericht 2016) Köln: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- O. A. (2018b): *Mautstatistik*. (Jahrestabellen 2017) Köln: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- O. A. (1999): „Sun on Privacy: „Get Over It““. *WIRED*. Abgerufen am 03.12.2017 von <https://www.wired.com/1999/01/sun-on-privacy-get-over-it/>.
- Oesterle, Michael-Jörg (2006): „Wahrnehmung betriebswirtschaftlicher Fachzeitschriften durch Praktiker“. In: *Die Betriebswirtschaft*. (3), S. 307.
- Ogilvy, David (1991): *Geständnisse eines Werbemannes*. © 1991. Düsseldorf/Wien/New York: ECON Verlag.
- Oskarski, J.; Jamroz, K.; Litwin, M. (2006): „Intelligence transportation system advanced management traffic systems“. In: Warschau.
- Ozbekhan, Hasan (1967): *The Idea of a „look-out“ Institution*. System development Corporation.
- Papoutsis, Konstantinos; Nathanail, Eftihia (2016): „Facilitating the Selection of City Logistics Measures through a Concrete Measures Package: A Generic Approach“. In: *Transportation Research Procedia*. 12, S. 679–691, doi: 10.1016/j.trpro.2016.02.021.
- Pascale, A.; Deflorio, F.; Nicoli, M.; u. a. (2015): „Motorway speed pattern identification from floating vehicle data for freight applications“. In: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 51, S. 104–119, doi: 10.1016/j.trc.2014.09.018.
- Pizlo, Zygmunt (2010): *3D Shape: Its Unique Place in Visual Perception*. MIT Press.

- Porter, M. E. (1979): „How Competitive Forces Shape Strategy“. In: *Harvard Business Review*. 57 (2), S. 137–145.
- Prüß, Klaus-Peter; Tschoepe, Armin (1974): *Planung und Sozialplanung: eine Einführung in ihre Begriffe und Probleme*. Weinheim und Basel: Beltz Verlag (Sozialpädagogische Reihe).
- Pullola, Sherisha; Atrey, Pradeep K.; El Saddik, Abdulmotaleb (2007): „Towards an intelligent GPS-based vehicle navigation system for finding street parking lots“. In: *Signal Processing and Communications, 2007. ICSPC 2007. IEEE International Conference on*. IEEE S. 1251–1254.
- Pulver, Simone; Van Deveer, Stacy (2007): „Futurology and futurizing: a research agenda on the practice and politics of global environmental scenarios“. In: *Amsterdam Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change Earth Systems Governance: Theories and Strategies for Sustainability, Amsterdam, Netherlands*. Citeseer.
- PwC (2017): *Total Retail 2017 - 10 retailer investments for an uncertain future*.
- Raffée, Hans (1974): *Grundprobleme der Betriebswirtschaftslehre*. Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht (Betriebswirtschaftslehre im Grundstudium der Wirtschaftswissenschaft).
- Rafiq, G.; Talha, B.; Patzold, M.; u. a. (2013): „What's New in Intelligent Transportation Systems?: An Overview of European Projects and Initiatives“. In: *IEEE Vehicular Technology Magazine*. 8 (4), S. 45–69, doi: 10.1109/MVT.2013.2281660.
- Reim, Uwe (2017): *Güterverkehr 2016: Neuer Höchststand beim Transportaufkommen*. (Pressemitteilung Nr. 057) Statistisches Bundesamt.
- Repenning, Julia; Emele, Lukas; Blanck, Ruth; u. a.; Umweltbundesamt (Hrsg.) (2016): *Politikszenerarien für den Klimaschutz VII–Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030*. Forschungszentrum Jülich.
- Reusens, Peter; Croux, Christophe (2017): „Sovereign credit rating determinants: A comparison before and after the European debt crisis“. In: *Journal of Banking & Finance*. 77 , S. 108–121, doi: 10.1016/j.jbankfin.2017.01.006.
- Revathi, G.; Dhulipala, V. R. S. (2012): „Smart parking systems and sensors: A survey“. In: *2012 International Conference on Computing, Communication and Applications*. S. 1–5, doi: 10.1109/ICCCA.2012.6179195.
- Riehm, Ulrich; Orwat, Carsten; Petermann, Thomas (2002): „Stand, Perspektiven und Folgen des E-Commerce“. In: *E-Commerce*. Physica, Heidelberg S. 1–18, doi: 10.1007/978-3-642-57487-0_1.
- Rikkonen, Pasi (2005): *Utilisation of alternative scenario approaches in defining the policy agenda for future agriculture in Finland*. MTT.
- Rillings, James H. (1997): „Automated highways“. In: *Scientific American*. 277 (4), S. 80–85.
- Ritter, Gerhard (1940): *Machtstaat und Utopie: vom Streit um die Dämonie der Macht seit Machiavelli und Morus*. München: Oldenbourg.
- Romer, Paul M. (1986): „Increasing Returns and Long-Run Growth“. In: *Journal of Political Economy*. 94 (5), S. 1002–1037.
- Rosen, D. A.; Mammano, F. J.; Favout, R. (1970): „An electronic route-guidance system for highway vehicles“. In: *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 19 (1), S. 143–152, doi: 10.1109/T-VT.1970.23442.
- Rost, Martin; Pfitzmann, Andreas (2009): „Datenschutz-Schutzziele — revisited“. In: *Datenschutz und Datensicherheit - DuD*. 33 (6), S. 353–358, doi: 10.1007/s11623-009-0072-9.
- Rowe, Gene; Wright, George (2001): „Expert Opinions in Forecasting: The Role of the Delphi Technique“. In: Armstrong, J. Scott (Hrsg.) *Principles of Forecasting*. Springer US (International Series in Operations Research & Management Science), S. 125–144, doi: 10.1007/978-0-306-47630-3_7.
- Russo, Francesco; Comi, Antonio (2010): „A classification of city logistics measures and connected impacts“. In: *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2 (3), S. 6355–6365, doi: 10.1016/j.sbspro.2010.04.044.
- Santa, José; Zamora-Izquierdo, Miguel A.; Jara, Antonio J.; u. a. (2012): „Telematic platform for integral management of agricultural/perishable goods in terrestrial logistics“. In: *Computers and Electronics in Agriculture*. 80 , S. 31–40, doi: 10.1016/j.compag.2011.10.010.
- Sartori, Giovanni (1992): *Demokratietheorie*. Darmstadt: Wiss. Buchges., [Abt. Verl.].
- Savelsbergh, Martin; Van Woensel, Tom (2016): „50th Anniversary Invited Article—City Logistics: Challenges and Opportunities“. In: *Transportation Science*. 50 (2), S. 579–590.
- Schanz, Günther (1988): *Methodologie für Betriebswirte*. 2., überarb. u. erw. Aufl. Stuttgart: Poeschel (Sammlung Poeschel).
- Schmidt, Manfred G. (2005): *Sozialpolitik in Deutschland*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften doi: 10.1007/978-3-322-80823-3.
- Schmölders, Günter (1963): „Universitas“. In: *Das Problem der Prognose in der Wirtschaft*. Stuttgart: Hirzel S. 237–246.

- Schnaars, Steven P. (1987): „How to develop and use scenarios“. In: *Long Range Planning*. 20 (1), S. 105–114, doi: 10.1016/0024-6301(87)90038-0.
- Schulz, Marlen; Renn, Ortwin (Hrsg.) (2009): *Das Gruppendelphi*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften doi: 10.1007/978-3-531-91511-1.
- Schwab, Klaus; Sala-i-Martin, Xavier; World Economic Forum (2017): *Global Competitiveness Report 2017-2018*. World Economic Forum.
- Schwarz-Geschka, Martina (2010): *Handbuch INKA 3 - Szenariosoftware*. Darmstadt 2001-2006: Geschka Unternehmensberatung GmbH.
- Shield, C. M.; Blythe, P. T. (1997): „The Use of Smart Cards in Transportation Systems: A European Perspective“. In: *IFAC Proceedings Volumes*. 30 (8), S. 257–262.
- Shladover, Steven E. (2007): „Path at 20-history and major milestones“. In: *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*. 8 (4), S. 584–592.
- Sitavancova, Z.; Hajek, M. (2010): „Intelligent transport systems: thematic research summary“. In.:
- Smith, Adam (1778): *An Inquiry Into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. W. Strahan, and T. Cadell: London.
- Smith, Rhona (2015): „Directive 2010/41/EU of the European Parliament and of the Council of 7 July 2010“. In: *Core EU Legislation*. London: Macmillan Education UK S. 352–355, doi: 10.1007/978-1-137-54482-7_33.
- Solow, Robert M. (1956): „A Contribution to the Theory of Economic Growth“. In: *The Quarterly Journal of Economics*. 70 (1), S. 65, doi: 10.2307/1884513.
- Sorensen, Paul A.; Taylor, Brian D. (2005): *Review and Synthesis of Road-Use Metering and Charging Systems, commissioned by the Transportation Research Board Committee for the Study of the Long-Term Viability of Fuel Taxes for Transportation Finance*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Spaniol, Matthew J.; Rowland, Nicholas J. (2018): „The scenario planning paradox“. In: *Futures*. 95, S. 33–43, doi: 10.1016/j.futures.2017.09.006.
- Sprado, Hans-Hermann (1997): „Forschung: Prof.Dr.Ernst Dieter Dickmanns wird mit dem Philip-Morris-Preis 1997 ausgezeichnet Selbstfahrendes Auto gewinnt an Tempo“. In: *VDIN NR. 020 VOM 16.05.1997 SEITE 014*.
- Steffen, Sabine (1996): *Wettbewerbsstrategien für deutsche Speditionen: am Beispiel des Marktes für Kühlgut-Logistik*. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. [u.a.] (Gabler Edition Wissenschaft : Logistik und Verkehr).
- Steinmüller, Karlheinz (1997): *Grundlagen und Methoden der Zukunftsforschung: Szenarien, Delphi, Technikvorausschau*. Gelsenkirchen: Sekretariat für Zukunftsforschung (WerkstattBericht / Sekretariat für Zukunftsforschung).
- Steinmüller, Karlheinz (2008): „Methoden der Zukunftsforschungs - Langfristorientierung als Ausgangspunkt für das Technologie-Roadmapping“. In: Möhrle, Martin G. (Hrsg.) *Technologie-Roadmapping: Zukunftsstrategien für Technologieunternehmen*. 3., neu bearb. und erw. Aufl. Berlin: Springer (VDI-Buch), S. 85–106.
- Stephens, B. W.; Rosen, D. A.; Mammano, F. J.; u. a. (1969): „Third generation destination signing: An electronic route guidance system“. In: *Highway Research Record*. (265).
- Sternberg, Henrik; Andersson, Magnus (2012): „The ITS Freight Roadmap of the Swedish ITS Council“. In.:
- Stölzle, Wolfgang (2002): „Logistikforschung — Entwicklungszüge und Integrationsperspektiven“. In: Stölzle, Wolfgang; Gareis, Karin (Hrsg.) *Integrative Management- und Logistikkonzepte*. Wiesbaden: Gabler Verlag S. 511–527, doi: 10.1007/978-3-663-07744-2_21.
- Sussman, Joseph M. (1993): „Intelligent vehicle highway systems: Challenge for the future“. In: *Microwave Symposium Digest, 1993., IEEE MTT-S International*. IEEE S. 101–104.
- Sussman, Joseph M. (2005): *Perspectives on intelligent transportation systems (ITS)*. New York: Springer Science+Business Media.
- Swamy, Shivanand; Baindur, Deepak (2014): „Managing urban freight transport in an expanding city — Case study of Ahmedabad“. In: *Research in Transportation Business & Management*. 11, S. 5–14, doi: 10.1016/j.rtbm.2014.06.010.
- Systematics, Cambridge (2000): *Inc. Strategic Plan for the Development of ADUS Standards*. FHWA, US Department of Transportation.
- Taniguchi, Eiichi (2014): „Concepts of City Logistics for Sustainable and Liveable Cities“. In: *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. (Green Cities - Green Logistics for Greener Cities, Szczecin, 19-21 May 2014), 151, S. 310–317, doi: 10.1016/j.sbspro.2014.10.029.
- Taniguchi, Eiichi; Thompson, R.G.; Yamada, T.; u. a. (Hrsg.) (2001): *City logistics: network modelling and intelligent transport systems*. 1st ed. Amsterdam ; New York: Pergamon.

- Tassara, Francesca; Consilvio, Alice (2017): *Collaborative Innovation - Cloud Logistics 2017*. (Abschlussbericht) European Commission.
- Teichler, Thomas; Berger, Florian; Enzing, Christien; u. a. (2014): *Workshopreihe mit begleitender Studie zur Technologieaufgeschlossenheit und Innovationsfreundlichkeit der Gesellschaft in Deutschland*. (Studie).
- The World Bank (2018): „Home | Logistics Performance Index“. Abgerufen am 14.01.2018 von <https://lpi.worldbank.org/>.
- The World Bank Group (2018): „WGI 2017 Interactive > Documentation“. Abgerufen am 12.01.2018 von <http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.aspx#doc>.
- Toll Collect (2018): „Mautausweitung 2018“. Abgerufen am 15.06.2018 von https://www.toll-collect.de/de/toll_collect/rund_um_die_maut/mautausweitung_2018/mautausweitung_2018.html.
- TomTom (2017): „Stauauffälligste Städte und Regionen in Deutschland im Jahr 2016“. *Statista*. Abgerufen am 30.01.2018 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/235762/umfrage/stauauffaelligste-staedte-in-deutschland/>.
- Trigell, Annika Stensson; Rothhämel, Malte; Pauwelussen, Joop; u. a. (2017): „Advanced vehicle dynamics of heavy trucks with the perspective of road safety“. In: *Vehicle System Dynamics*. 55 (10), S. 1572–1617, doi: 10.1080/00423114.2017.1319964.
- Tsugawa, Sadayuki (2009): „A Survey on Effects of ITS –related Systems and Technologies on Global Warming Prevention“. In: *IFAC Proceedings Volumes*. 42 (15), S. 334–341, doi: 10.3182/20090902-3-US-2007.0084.
- Turri, V.; Besselink, B.; Mårtensson, J.; u. a. (2014): „Fuel-efficient heavy-duty vehicle platooning by look-ahead control“. In: *53rd IEEE Conference on Decision and Control*. S. 654–660, doi: 10.1109/CDC.2014.7039456.
- Ulrich, Peter; Hill, Wilhelm (1976): „Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre“. In: *Wirtschaftswissenschaftliches Studium : Zeitschrift für Ausbildung und Hochschulkontakt*. 5 (7+8), S. 304–309.
- Vahrenkamp, R.; Vogt, M.; Eley, M. (1998): *Logistikmanagement*. 3., neu bearb. Aufl. München: Oldenbourg.
- Vahrenkamp, Richard; Kotzab, Herbert (2017): *Logistikwissen kompakt*. Eighth edition. Boston: De Gruyter Oldenbourg (De Gruyter Studium).
- Vahrenkamp, Richard; Kotzab, Herbert; Siepermann, Christoph (2012): *Logistik: Management und Strategien*. 7., überarbeitete und erweiterte Auflage. München: Oldenbourg.
- Varadarajan, P. Rajan (2003): „Musings on Relevance and Rigor of Scholarly Research in Marketing“. In: *Journal of the Academy of Marketing Science*. 31 (4), S. 368–376, doi: 10.1177/0092070303258240.
- Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V. (2007): „Rigour versus Relevance - Anregungen zum Generalthema der 69. VHB-Tagung“. Abgerufen am 04.11.2016 von <https://vhbonline.org/en/events/annual-meetings/pfingsttagung-2007/tagungsthema/>.
- Viehmann, Sebastian (2016): „Ihr steht mal wieder im Stau? Schuld daran ist...“. *FOCUS Online*. Abgerufen am 22.07.2017 von http://www.focus.de/auto/ratgeber/unterwegs/stau-report-2016-helene-fischer-pegida-bahnstreik-was-deutschlands-verkehr-lahmlegt_id_5369429.html.
- Vlasic, Ljubo (Hrsg.) (2001): *Intelligent vehicle technologies: theory and applications*. Oxford [u.a]: Butterworth-Heinemann.
- Vollmer, Julia (2017): „Die Cargo-Tram ist wieder da“. *SZ-Online*. Abgerufen am 07.03.2018 von <http://www.sz-online.de/nachrichten/die-cargo-tram-ist-wieder-da-3644803.html>.
- Wack, Pierre (1985): *Scenarios: Uncharted Waters Ahead*. Harvard Business Review.
- Walker, Guy; Manson, Alastair (2014): „Telematics, urban freight logistics and low carbon road networks“. In: *Journal of Transport Geography*. 37, S. 74–81, doi: 10.1016/j.jtrangeo.2014.04.006.
- Walnum, Hans Jakob; Simonsen, Morten (2015): „Does driving behavior matter? An analysis of fuel consumption data from heavy-duty trucks“. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 36, S. 107–120, doi: 10.1016/j.trd.2015.02.016.
- Webler, Thomas; Levine, Debra; Rakel, Horst; u. a. (1991): „A novel approach to reducing uncertainty: The group Delphi“. In: *Technological Forecasting and Social Change*. 39 (3), S. 253–263, doi: 10.1016/0040-1625(91)90040-M.
- Weimer, Wolfram (2017): „Deutschland hat politische Stabilität verloren“. Abgerufen am 13.01.2018 von <http://www.theeuropean.de/wolfram-weimer/12833-deutschland-hat-politische-stabilitaet-verloren>.
- WELT (2013): „Städtische Gebiete: Staus kosten jeden Haushalt 509 Euro im Jahr“. *DIE WELT*. 18.12.2013.
- WELT (2018): „Wer will was wieso weshalb warum?: Führer durch die Diesel-Diskussion“. *DIE WELT*. 8.3.2018.
- Wendt, Alexander (2018): „Jetzt zerfällt die Gesellschaft tatsächlich“. Abgerufen am 13.01.2018 von <http://www.theeuropean.de/alexander-wendt/13351-jetzt-zerfaellt-die-gesellschaft-tatsaechlich>.
- Wiedemann, Alfred (2018): „Tunnel Rastatt: Immer noch kein Licht im Schacht“. *SÜDWEST PRESSE*. 14.1.2018.

- Williams, Rob (2006): „System integrity“. In: *Real-Time Systems Development*. Elsevier S. 311–340, doi: 10.1016/B978-075066471-4/50017-7.
- Winner, Hermann; Hakuli, Stephan; Wolf, Gabriele (2012): *Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. Wiesbaden: Vieweg # Teubner.
- Wootton, J. R.; Garcia-Ortiz, A.; Amin, S. M. (1995): „Intelligent transportation systems: a global perspective“. In: *Mathematical and computer modelling*. 22 (4–7), S. 259–268.
- Zajicek, J.; Schechtner, K. (2005): „Area wide hazardous goods monitoring on the TERN in Austria - project SHAFT“. In: *2005 IEEE Intelligent Transportation Systems, 2005. Proceedings*. S. 598–600, doi: 10.1109/ITSC.2005.1520062.
- Zambou, N.; Enning, M.; Abel, D. (2003): „Längsdynamikregelung eines Fahrzeugkonvois mit Hilfe der Modellgestützten Prädiktiven Regelung“. In: *VDI-Berichte*. VDI-Verlag S. 23–34.
- Zeimpekis, V.; Giaglis, G.M.; Minis, Ioannis (2005): „A dynamic real-time fleet management system for incident handling in city logistics“. In: *Vehicular Technology Conference, 2005. VTC 2005-Spring. 2005 IEEE 61st*. S. 2900–2904 Vol. 5, doi: 10.1109/VETECS.2005.1543877.
- Zeimpekis, Vasileios; Giaglis, George M. (2006): „Urban dynamic real-time distribution services: Insights from SMEs“. In: *Journal of Enterprise Information Management*. 19 (4), S. 367–388, doi: 10.1108/17410390610678304.
- Zimmermann, V. (1993): *Methodenprobleme des Technology Assessment. Eine methodologische Analyse*. Karlsruhe doi: 10.5445/IR/270034464.

Anhang

Alle im Anhang befindlichen Daten können in der angefügten CD eingesehen werden.

Anhang A: Klassifizierung beförderter Güter

Anhang B: Methodische Einordnung der ITS-Forschungsarbeiten

Anhang C: Szenarioanzahl

Anhang D: Szenariobezeichnung

Anhang E: Bücher und Forschungsbeiträge

Anhang F: Ähnlichkeitsanalyse_1

Anhang G: Ähnlichkeitsanalyse_2

Anhang H: Konsistenzmatrix

Anhang I: Auswirkungsanalyse-Begründung

Anhang J: City-Logistik Projekte